

TRAITÉ DE L'ART DE LA CHARPENTERIE

Par **A. R. ÉMY**

COLONEL DU GÉNIE EN RETRAITE
OFFICIER DE L'ORDRE ROYAL DE LA LÉGIION D'HONNEUR
PROFESSEUR DE FORTIFICATION A L'ÉCOLE ROYALE MILITAIRE DE SAINT-CYR
MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES BEAUX-LETTRES, SCIENCES ET ARTS DE LA ROCHELLE
DE LA SOCIÉTÉ ROYALE D'AGRICULTURE ET DES ARTS DU DÉPARTEMENT DE SEINE-ET-OISE
DE L'INSTITUT HISTORIQUE, ETC.

NOUVELLE ÉDITION, REVUE AVEC SOIN

SUIVIE

D'ÉLÉMENTS DE CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

ET PRÉCÉDÉE D'UNE

NOTICE SUR L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867 (SECTION DES BOIS)

PAR

L. A. BARRÉ

Ingénieur civil, ancien élève de l'École impériale et centrale des arts et manufactures
Professeur à l'Association polytechnique

TOME PREMIER

PARIS
DUNOD, ÉDITEUR

SUCCESSEUR DE VICTOR DALMONT

Précédemment Carillan-Gœury et Victor Dalmont

Libraire des corps impériaux des Ponts et Chaussées et des Mines

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

Avis sur la nouvelle édition.

Le premier volume de la Charpenterie du colonel Emy a paru en 1837, et le second en 1841. La première édition est épuisée depuis plusieurs années, et c'est pour répondre au désir maintes fois exprimé par les constructeurs que la réimpression de cet excellent et unique ouvrage a été entreprise. Nous disons unique, parce qu'il est, en effet, le seul où l'on puisse étudier méthodiquement les progrès de l'art de la charpenterie et qui renferme des spécimens des applications du bois à tous les genres de construction. Aussi cet ouvrage a-t-il conservé toute sa valeur intrinsèque.

En surveillant la réimpression de la nouvelle édition, nous n'avons eu qu'à transformer dans la première les anciennes mesures en mesures métriques et à compléter les chapitres relatifs aux couvertures en tuiles, en ardoises et métalliques. Mais notre addition la plus importante consiste dans un complément sur la charpenterie en fer, dont nous avons fait suivre l'ouvrage.

Depuis la publication de la Charpenterie d'Emy, l'ossature des constructions s'est bien modifiée en France; actuellement, le métal y joue un très-grand rôle; à Paris le fer a remplacé exclusivement le bois dans les charpentes, et bientôt, grâce aux progrès de la métallurgie, l'acier fera concurrence au fer dans les constructions. Presque partout les colonnes en fonte ou même en fer remplacent avantageusement les pilastres en pierre comme supports intermédiaires en agrandissant les espaces disponibles. Les fers laminés en forme de double T et les poutres en tôle assemblées avec cornières ont pris la place des massives poutres en bois, en permettant des portées dans œuvre considérables; les combles et les couvertures des bâtiments sont souvent en métal, et enfin dans les ouvrages à grande portée, tels que ponts, marchés, halles couvertes pour chemins de fer, etc., l'emploi du métal a permis des solutions nouvelles. Il était donc nécessaire que, dans un ouvrage de l'importance de la Charpenterie d'Emy, où il y a déjà quelques aperçus de l'emploi du fer dans les charpentes, on trouvât au moins ce que l'on peut entendre par *éléments de charpenterie métallique* ou mise en œuvre du métal dans les constructions, en restreignant toutefois les applications du métal aux supports ou colonnes, aux planchers et combles, et en réservant les grands ouvrages métalliques, tels que ponts, viaducs, dont le développement dépasserait le cadre que nous nous sommes donné.

Aujourd'hui le constructeur et l'architecte ne peuvent ignorer l'emploi du métal, et de plus, il est indispensable qu'ils le possèdent au point de vue le plus rationnel, c'est-à-dire le plus économique, parce que le métal est encore plus cher que les autres matériaux de construction, et qu'il ne peut remplacer ces derniers avec avantage qu'à la stricte condition d'être employé avec un minimum de poids répondant à un effet donné de résistance. Il fallait donc, pour venir en aide aux praticiens, condenser des données précises et économiques sur l'emploi

du métal (fonte, fer et tôle), présenter des spécimens des divers assemblages des ouvrages métalliques avec les dernières indications de la science et surtout de l'expérience. C'est d'après ces considérations que nous avons fait suivre la Charpenterie d'Émy, d'*éléments de charpenterie métallique*, dans lesquels nous donnons d'abord, comme *introduction* et sous forme de *tableaux graphiques*, la résistance de tous les supports, poteaux et solives en bois, colonnes en fonte et en fer pleines ou creuses, fers laminés à simple et à double T, poutres en tôle, puis une étude nouvelle de la répartition des efforts sur les solives, les poteaux, colonnes ou pilastres; ensuite, nous traitons des assemblages métalliques et de leurs combinaisons dans les planchers et combles.

D'après ce qui précède, on pourrait être porté à conclure que les études sur le travail du bois ont vieilli, et qu'elles sont abandonnées ou près de l'être. Ce serait une grande erreur; car, dans les pays du Nord, les bois, vu leur abondance, trouvent un emploi naturel dans la construction et sont préférés aux autres matériaux, et dans beaucoup de localités ils entrent exclusivement dans la construction des bâtiments de toutes sortes; et, même en France, un grand nombre de halles pour gares de chemins de fer à grande portée ont été construites récemment en bois, sauf les moyens de consolidation, tels que bielles, tirants, poinçons, qui ont été faits en métal.

Les renseignements statistiques montrent d'ailleurs que la consommation du bois va toujours en augmentant en Europe (1), surtout depuis le développement des chemins de fer.

Pour peu que l'on veuille se rendre compte de la corrélation qui existe entre les divers matériaux de construction, on reconnaît que le bois pourrait bien jouer dans l'avenir industriel un rôle économique considérable, parce que, dans un temps plus ou moins rapproché, il est probable que les bois étrangers des Guyanes, du Brésil et même d'Australie feront apparition dans les contrées de l'Europe. Si les moyens de transport entre les divers continents s'améliorent, il est certain que les qualités bien supérieures des bois d'Amérique et d'Australie sur ceux d'Europe, et surtout leur très-grande abondance, leur assigneront une place importante dans l'industrie future.

Nous avons pensé être utile en faisant connaître l'état actuel des ressources forestières du globe. Les Expositions de 1856, 1862, et surtout celle de 1867, ont révélé des faits qui viennent confirmer les assertions qui précèdent sur l'avenir des bois et sur les immenses ressources que les bois étrangers peuvent offrir à la France et à l'Europe entière.

(1) M. Michel Chevalier dit dans sa remarquable introduction aux rapports du jury international en parlant de l'exportation colossale des bois de la Suède et de la Norvège : « Vainement le fer, dont le prix diminue sans cesse et que de plus en plus on excelle à travailler à peu de frais, fait au bois une rude concurrence pour une multitude d'usages. Le commerce des bois grandit toujours, parce que les peuples, de plus en plus industrieux et de plus en plus dans l'aisance, ont des genres de besoins toujours croissants. »

Notice sur l'Exposition universelle de 1867.

(SECTION DES BOIS)

SOMMAIRE. — Quelques mots sur les épuisements simultanés du bois, du fer et de la houille. — Exposition des bois de l'Europe. — Richesses forestières comparées des contrées de l'Europe. — Pénurie des bois en Europe. — Bois non écopés. — Exposition de l'Afrique et ressources que présente l'Algérie pour l'acclimatation des bois de l'Australie. — Les bois des Indes. — Les bois de l'Amérique septentrionale représentés par l'exposition du Canada. — Les bois de l'Amérique méridionale représentés par les expositions des Guyanes, du Brésil et d'autres contrées. — Les bois de l'Australie. — Conclusion ayant pour objet de mettre en relief les ressources que l'Europe peut tirer des autres parties du monde pour combler le vide de ses forêts, pour les reboiser et même pour ménager la houille et le fer, dont la consommation, toujours croissante, peut devenir un écueil pour l'industrie.

L'intérêt que présentait l'exposition des bois, où l'on voyait réunis des spécimens des richesses forestières du monde entier, grandit encore par l'étude de tout ce qui s'y rattache, notamment lorsqu'on essaye de rétablir à leurs véritables dimensions les arbres, les forêts qui ont donné ces magnifiques échantillons, parcelles détachées de tant de richesses séculaires qui se présentent sur place avec des proportions si prodigieuses. L'idée que de si grandes choses peuvent s'amoinrir et même disparaître par la négligence et la dévastation, vient difficilement à l'esprit, bien que ce désastre soit déjà un fait accompli dans une notable partie de l'Europe, et qu'il tende à gagner d'autres continents. On est entraîné à étudier les moyens de conserver ces belles prodigalités du sol.

A considérer l'universalité des services rendus par le bois, on reconnaît que les forêts sont la seule force *vivante et vivace* de l'industrie humaine, parce qu'elles ont pour principe la vie, ou la propriété de se renouveler et même de s'accroître par les soins des hommes. Le bois diffère donc essentiellement du fer et de la houille, qui, dans l'état actuel des progrès de l'industrie, sont bien certainement les matières premières les plus utiles, et auxquelles le XIX^e siècle doit sa toute-puissance industrielle; mais leur apparition sur le globe étant le résultat de révolutions et d'accidents géologiques, par cela même leur quantité est limitée et épuisable. Que deviendra l'industrie si les mines de houille et de

fer s'épuisent ? et elles s'épuiseront sans aucun doute (1), bien que de nouveaux gisements se trouvent toujours sous les pieds des mineurs ; parce que l'industrie et la consommation de ces matières prennent des développements prodigieux et que le fer et l'acier font invasion partout, dans les machines et aussi dans les constructions. Si l'épuisement du bois s'ajoutait à ceux de la houille et du fer, l'industrie décroîtrait et serait bientôt ruinée. Nous ne pouvons rien par rapport à la houille et au fer, tout au plus pouvons-nous les ménager ; et à ce sujet, des calculs montrent que la houille pourrait être beaucoup mieux utilisée qu'elle ne l'est actuellement ; mais, par rapport au bois et aux forêts, l'homme peut les ménager et les accroître, et se réserver ainsi de précieuses richesses pour l'avenir.

Les questions concernant les bois ont tellement d'opportunité et sont si universellement étudiées, que, sans aucune entente préalable, l'Exposition universelle de 1867 semblait être une heureuse concurrence des efforts des savants et des praticiens de tous les pays qui s'intéressent aux développements des bois et produits ligneux si précieux dans une foule d'industries. Nous donnons ci-après sous forme de tableaux le dénombrement des divers échantillons de bois que nous avons relevés nous-même à l'Exposition universelle ; mais nous avertissons le lecteur que la production des divers pays et leurs ressources forestières ne sont pas toujours en rapport avec les quantités et qualités des produits exposés. Ces tableaux seuls induiraient donc en erreur, si nous les faisons suivre d'une étude complémentaire indispensable. Les tableaux ci-après contiennent donc seulement, par rapport à la section des bois, ce qui était visible pour tout le monde à l'Exposition universelle, nous le publions à litre de renseignements numériques ; mais si on le veut on pourra se reporter immédiatement à l'analyse condensée des bois de l'Exposition et des renseignements de diverses natures qui s'y rapportent, d'après laquelle on pourra se faire une idée des richesses comparées des bois de l'Europe, de leur pénurie et de leur insuffisance, enfin des ressources que l'Europe peut tirer des autres continents pour combler son déficit et pour repeupler ses propres forêts.

(1) M. Michel Chevalier dit dans son introduction aux rapports du jury international (1867) : « Dans beaucoup de cas, il est fort opportun que la question de savoir si la houille peut manquer soit posée : les gisements de France, par exemple, qui sont peu nombreux en comparaison de ceux de l'Angleterre, de la Belgique et des États-Unis, ne semblent pas devoir aller très-loin. Les busses de Saint-Etienne et de Rive-de-Gier paraissent devoir d'ici à un siècle approcher de leur terme. » D'après sir William Armstrong, l'Angleterre aurait de la houille au plus pour deux siècles.

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867.

(GROUPE V, CLASSE 41.)

TABLEAU DES BOIS

EXPOSÉS PAR LES DIVERS PAYS DU GLOBE

EUROPE.

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS LIGNEUX.
<p>France.</p> <p><i>École impériale et forestière de Nancy.</i></p> <p>M. Mathieu, professeur d'histoire naturelle.</p>	<p>200 troncs cylindriques de 0^m,15 d'épaisseur; diam. 0^m,30, 1 m. et 1^m,50.</p>	<p>Chênes: { occidental, zéen, tauzin, rouvre, pubescent, yeuse, liège.</p>
	<p>100 échantillons de 0^m,30, sur 0^m,20 et 0^m,08 d'épaisseur (bois résineux).</p> <p>50 échantillons de chêne liège. 180 » de chênes divers. 180 » genre pin. Un chêne pédonculé de 142 ans, 5 mètres de tour et un autre de 7 m. Grand nombre d'outils employés dans les forêts. Un rouleau pour sortir les arbres, sans nuire au repeuplement dans les coupes secondaires et définitives.</p> <p>» » »</p>	<p>Pin { Cembro, sylvestre, pinier, d'Alep, maritime.</p> <p>Espèces diverses : mélèze d'Europe, sapin pectiné, châtaignier, lierre, hêtre des bois. — Pommeiers : acerbe, alisier terminal, charme commun; orme diffus, orme de montagne, tilleul des bois, bouleau blanc, aune.</p> <p>Une grande carte forestière inachevée et combinée avec la carte géologique de MM. Dofrénoy et Elie de Beaumont.</p>

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS LIGNEUX.																		
<i>M. Gayffier.</i>	» » »	Herbier forestier de la France, contenant 200 photographies représentant les feuilles, les fleurs, les fruits des espèces d'arbres qui peuplent les forêts de la France.																		
<i>M. le comte des Cars.</i>	200 échantillons de troncs d'arbres présentant les divers vices des bois, dont certains avaient subi divers traitements.	Cette exposition, d'un très-grand intérêt, mérite d'être signalée tout particulièrement pour rendre hommage à son auteur, qui s'est livré à une des études les plus laborieuses sur le sujet.																		
<i>Société d'agriculture de Châteauroux.</i>	18 beaux échantillons de grandes dimensions.	Noyer, chêne mertrain, merisier.																		
<i>Île de Corse.</i>	Des chênes lièges.	Bouchons.																		
<i>Prusse.</i>	50 rondelles de bois; exposition insignifiante et peu en harmonie avec les richesses forestières de ce pays.	Pin, aune, tremble, sapin blanc, bouleau, sapin rouge, hêtre, chêne.																		
<i>Allemagne.</i>	Rien; bien que la richesse forestière soit très-grande.	» »																		
<i>Autriche. La plus colossale exposition des pays de l'Europe.</i>	4 gros échantillons de chêne, ronds (domaine de Tetschen), de 0 ^m ,70 à 1 m. de diam., et 0 ^m ,10 d'épaisseur; le plus gros était destiné à l'École forestière de Nancy. 80 échantillons sous forme de livres reliés, formant boîtes; dans l'intérieur, des feuilles, des graines et des fruits correspondants, le dos du livre formé avec l'écorce. 56 dévues de chêne de 5 ^m ,16 de long., 0 ^m ,28 de larg. sur 0 ^m ,16 d'épaisseur et accessoires, formant en tout 83 madriers fendus à la hache (en 1862) dans des bois de 400 ans, devant servir à la fabrication d'un tonneau de la contenance de 100 000 litres (100 m. c.). Une centaine d'arbres entiers de 0 ^m ,60 à 1 m. de diamètre, un arbre de 1 ^m ,60 de diamètre. Une série d'échantillons exceptionnels :	Feuilles minces pour placage; bois à table d'harmonie, ondulés. — Bois très-blancs à dessins ondulés de 2 ^m de long, sur 0 ^m ,40 de large. Parquets à dessins de couleur. — Spécimens de charbons de bois. Les principaux bois exploités sont : Le chêne blanc. id. noir. Le sapin. L'épicéa. Le mélèze. Le pin d'Autriche. Le pin sylvestre. Le hêtre. Le frêne.																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="398 1079 564 1109">ESSENCES.</th> <th data-bbox="575 1079 665 1109">DIAMÈTRES.</th> <th data-bbox="676 1079 762 1109">LONGUEURS.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="398 1124 564 1170">Frênes (<i>fraxinus excelsior</i>).....</td> <td data-bbox="575 1124 665 1170">0 m. 30</td> <td data-bbox="676 1124 762 1170">23 m. 60</td> </tr> <tr> <td data-bbox="398 1170 564 1215">Chêne (<i>quercus pedunculata</i>).....</td> <td data-bbox="575 1170 665 1215">1 m. 60</td> <td data-bbox="676 1170 762 1215">20 m. 45</td> </tr> <tr> <td data-bbox="398 1215 564 1245">Épicéa (<i>abies excelsa</i>)</td> <td data-bbox="575 1215 665 1245">0 m. 58</td> <td data-bbox="676 1215 762 1245">26 m. 00</td> </tr> <tr> <td data-bbox="398 1245 564 1276">Sapin (<i>abies pectinata</i>).....</td> <td data-bbox="575 1245 665 1276">0 m. 56</td> <td data-bbox="676 1245 762 1276">38 m. 85</td> </tr> <tr> <td data-bbox="398 1276 564 1289">Id.....</td> <td data-bbox="575 1276 665 1289">0 m. 70</td> <td data-bbox="676 1276 762 1289">39 m. 00</td> </tr> </tbody> </table>	ESSENCES.	DIAMÈTRES.	LONGUEURS.	Frênes (<i>fraxinus excelsior</i>).....	0 m. 30	23 m. 60	Chêne (<i>quercus pedunculata</i>).....	1 m. 60	20 m. 45	Épicéa (<i>abies excelsa</i>)	0 m. 58	26 m. 00	Sapin (<i>abies pectinata</i>).....	0 m. 56	38 m. 85	Id.....	0 m. 70	39 m. 00	
ESSENCES.	DIAMÈTRES.	LONGUEURS.																		
Frênes (<i>fraxinus excelsior</i>).....	0 m. 30	23 m. 60																		
Chêne (<i>quercus pedunculata</i>).....	1 m. 60	20 m. 45																		
Épicéa (<i>abies excelsa</i>)	0 m. 58	26 m. 00																		
Sapin (<i>abies pectinata</i>).....	0 m. 56	38 m. 85																		
Id.....	0 m. 70	39 m. 00																		

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS LIÉGÈUX.
Roumanie. (Turquie d'Europe.)	Chêne des forêts des monts Carpathes. Un chêne de 1 ^m ,40 de diamètre. 50 rondelles de frêne à veines ondulées, pouvant recevoir un beau poli; teinte jaune clair.	<i>Essences</i> : Chêne, charme et pin. La collection a été faite pendant l'hiver (1866-1867) au moment où les neiges couvraient le sol et empêchaient le transport.
Hongrie.	(Les forêts occupent le 1/6 du territoire; point d'échantillon de bois.)	Plaques minces pour tables d'harmonie.
La Suisse.	Point d'échantillon.	Parquets très-ornés.
La Navarre.	Idem.	Lames minces et parquets.
Espagne. Diverses écoles et Instituts royaux.	Très-belle exposition bien classée, 600 petits échantillons de bois de toutes essences.	Les principales espèces de bois de l'Europe.
Portugal. Exposition faite par l'Administration du royaume.	10 beaux échantillons, ronds de 0 ^m ,80 à 1 m. de diamètre, sur 0 ^m ,25 d'épaisseur. 90 échantillons de 0 ^m ,30 sur 0 ^m ,12. Le pin pignon et le pin maritime sont cultivés au sud et au centre du Portugal. Le chêne liège y forme une culture importante.	Les principales espèces de bois de l'Europe. — Olivier, figuier. — Belle exposition de lièges et bouchons.
Italie. Exposants : Institut de Florence et deux Sociétés agraires. École d'agriculture de Pesaro. École des ingénieurs de Naples.	<i>Exposition scientifique importante.</i> 390 échantillons, dont 80 rondins divisés sur la longueur en deux parties réunies par charnières; une moitié vernie, et l'autre brute. Dimensions, 0 ^m ,40 de long sur 0 ^m ,10 à 0 ^m ,20 de diamètre. Une série d'échantillons de 0 ^m ,15 de long, sur 0 ^m ,15 à 0 ^m ,10 de diamètre. 300 spécimens sous forme de rondins et plaques.	Les principales essences de l'Europe. — Bois décoratifs. — Chiendents, chanvres, ficelles.
Russie. Exposition du Jardin botanique impérial de Saint-Petersbourg.	<i>Très-belle collection bien classée</i> : 160 petits échantillons de forme cylindrique de 0 ^m ,10 de diamètre, 0 ^m ,25 à 0 ^m ,30 de long. Une belle série d'échantillons rondins présentant chacun un creux ou boîte cylindrique de 45 millim. de diam., fermée par une vitre et contenant de la graine, des feuilles et des fleurs des essences correspondantes.	<i>Essences</i> : Pins, chênes, cèdre. — Planches de chêne, débitées, de 8 m. de long, 0 ^m ,25 de large sur 0 ^m ,08 d'épaisseur. — Des spécimens de construction à un étage, tout en bois (grandeur naturelle). — Des gondrons, des résines. — Bouchons de Riga. — Beaucoup d'objets de matières ligneuses : sacs en cordages de tulle. — Pots en bois, coffrets grossiers, pilons. Ces objets étaient exposés par le ministère russe des domaines. — Objets de boissellerie.

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS LIÉGÈUX.
Grand-duché de Finlande. Exposition faite par l'Institut d'Évois.	Une série de 50 rondins de 0 ^m ,60 à 0 ^m ,20 de diam., sur 0 ^m ,10 d'épaisseur. 100 échantillons, rondins de 0 ^m ,25 à 0 ^m ,60 de diam. sur 0 ^m ,10 d'épaisseur se rapportant au pin sylvestre, au pin épicé, au bouleau et au peuplier.	Essences des bois de la Russie : au nord Pin sapin. au nord-est Epicéa, mélèze. à l'ouest Pin sylvestre. à l'est Chêne. au sud Tilleul. à l'est Hêtre, orme, érable. au sud Essences de l'Europe.
Pologne.	50 coupes circulaires de 0 ^m ,20 à 0 ^m ,60 de diamètre, sur 0 ^m ,10 d'épaisseur. Une série de 50 spécimens sous forme de livres reliés, l'écorce faisant le dos du livre. A l'intérieur, des feuilles, des fleurs, des graines et un échantillon de charbon de l'essence correspondante.	<i>Essences</i> : Mélèze, épicéa, bois d'if, aune blanc et aune commun, peuplier, mûrier, pin, poirier sauvage, saule blanc.
Suède.	30 rondelles de bois; exposition insignifiante, bien que la richesse forestière de cette contrée soit considérable. (<i>Les forêts occupent le tiers du territoire.</i>)	Goudrons et résines.
Norvège.	Point d'échantillon de bois.	Bois de construction débités, filets de douçine, planches travaillées sur les bords du Glommen. Spécimen de chalets norvégiens.
Hollande.	Point d'échantillon de bois.	Une métairie modèle, entièrement en bois, couverte en paille, parfaitement agencée.
Angleterre. Série d'expériences du capitaine Fowke.	Rien comme échantillons de bois provenant de l'Angleterre même. Très-remarquable exposition déjà faite à Londres en 1862, d'une collection de 3 000 échantillons de bois de toutes essences sur lesquelles des expériences ont été faites jusqu'à la rupture par le capitaine Fowke, au musée de South-Kensington. Chaque échantillon étiqueté et donnant des renseignements sur son essence, sa provenance et l'effort sous lequel il s'est rompu. Ces échantillons, de 0 ^m ,40 de long sur 0 ^m ,05 d'équarrissage chacun, étaient rangés autour d'un axe vertical et rendus mobile comme les feuillets d'un livre de 2 m. de hauteur.	Le territoire est encore très-boisé. — Les études et la pratique du reboisement s'y font avec activité. — <i>Essences</i> : Chèvre-feuille, arbre à thé de côte, bois de fer de la Jamaïque. Le bois de jaquier des Indes, le cerisier rouge, l'ébène et le cornouiller de la Jamaïque, des échantillons de Queen's Land, de la Trinity, des cèdres de Libéria, et des cerisiers. Les bois des Indes orientales, etc., etc. Voir une brochure publiée à Londres et relatant les expériences du capitaine Fowke.

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS LIÉGÉS.
--------------------------------	---	---

AFRIQUE.

Algérie.	150 échantillons de bois de toutes couleurs et de toutes essences. Diam. 0 ^m ,15 à 0 ^m ,30, long. 0 ^m ,30. Deux échantillons de l'Eucalyptus globulus, de l'Australie, acclimaté en Algérie, et sujet du jardin d'acclimatation d'Alger (8 ans), dirigé par M. Hardy. L'un de ces arbres avait 1 ^m ,60 de tour, l'autre 1 ^m ,20 de tour et 10 ^m ,55 de hauteur.	Tons très-clairs, un seul presque noir dénommé <i>Diauban</i> , aubier jaune très-dur. Ecorce mince. Une surface annulaire en liège de 0 ^m ,60 de diamètre et 0 ^m ,120 d'épaisseur. Liège de l'Edough, près Bone.
Province de Constantine.	Des cèdres de la forêt de Belezma.	» »
Sénégal.	Une série de 40 beaux échantillons.	Quelques essences inconnues en Amérique et aux Antilles.
Province d'Oran. (Exposition française.)	Plusieurs centaines d'échantillons de 0 ^m ,30 sur 0 ^m ,25 de diamètre. Une vingtaine de planches de 4 m. de long sur 0 ^m ,50 de large et 7 à 8 cent. d'épaisseur.	Murier noir, chêne, ormeau, azédarach, acacia blanc. Pistachier de l'Atlas, chêne vert ou chêne yeuse, chêne à feuilles de châtaignier et thuya.
Caramanac. Colonie française.	50 échantillons demi-cylindriques; 60 bambous de l'Inde de 15 m. de hauteur et 0 ^m ,15 de diamètre (acclimatés). Un rond de cèdre de la forêt de Téniet-el-Haad, de 0 ^m ,20 d'épaisseur, diam. 1 ^m ,30, âgé de 485 ans.	Tons très-clairs, acacias, palmiers.
Le pays des Sœurs.	20 échantillons divers.	» » »
Colonie française de la Réunion.	60 échantillons de $\frac{0^m,30}{0^m,20}$ à $\frac{0^m,30}{0^m,10}$. Les essences les plus estimées sont : le petit-natte, le grand-natte, le bois puant, le tamarin des hauts, le cœur-bleu, le lilas du pays, le noir de l'Inde, le bassin.	Toutes couleurs, teinte jaune paille jusqu'au sombre rappelant le noyer. Teck, lilas blanc, cocotier citronnier, ébène, bois de fer.
Sainte-Marie de Madagascar, Colonie française.	109 échantillons de 0 ^m ,30 sur 0 ^m ,30. Les forêts de Madagascar et de Nossi-Bé fournissent l'ébène, le santal ou sandal et le pissandre.	Tons très-tendres, quelques rares espèces foncées. Le bois violet dont l'aubier est très-dur; on en fait des traverses pour chemins de fer.
Colonie Natal, exploitées par les Anglais.	50 échantillons de bois en plaque de 0 ^m ,50 à 0 ^m ,22 sur 0 ^m ,07 d'épaisseur (parallépipède). Une roue de voiture de 0 ^m ,80 de diamètre en diverses sortes de bois de couleurs variées pour les rayons et la jante.	Bois durs, propres à l'ébénisterie.

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS LIÉGÉS.
--------------------------------	---	---

ASIE.

Indes orientales anglaises. Nova-Scotia.	Une série de 39 pièces sous formes de mardriers de 2 m., 3 m. et 4 m. de long, largeur de 0 ^m ,50 à 0 ^m ,70 sur 0 ^m ,10, 0 ^m ,15 d'épaisseur.	<i>Essences</i> : Bois très-foncés et très-denses. Bois de sandal dont le parfum est recherché des Chinois et des Indiens du Pacifique. Il se vend de 50 à 75 fr. les 100 kilog.
Trinidad, Colonie anglaise.	100 beaux échantillons en plaque de $\frac{0^m,80}{0^m,30}$ sur 7 à 10 centimètres d'épaisseur. Quelques échantillons de 2 ^m ,50 de long. Une collection de plusieurs centaines d'échantillons en plaquettes et parallépipèdes, dimensions 0 ^m ,80, 0 ^m ,50 de longueur.	<i>Essences</i> : Teck et sâl propres aux constructions navales. — <i>L'acacia catechu</i> qui donne le cachou; l'ébène. Cordages, chanvres, papiers et fauteuils en jonc, lignes à pêche, bambous.
Cochinchine. (M. Petit, exposant.) Exposition française.	Une centaine d'échantillons, dimensions depuis 0 ^m ,10 jusqu'à 0 ^m ,30 sur 0 ^m ,30. Collection sans catalogue.	Couleurs variées éclatantes, tons arajou. Teck et sâl, diverses espèces propres à l'ébénisterie et construction.
Colonies des Indes françaises.	130 petits échantillons de 0 ^m ,30 sur 0 ^m ,15. 60 gros échantillons de $\frac{0^m,900}{0^m,900}$ sur $\frac{0^m,900}{0^m,600}$ d'épaisseur. 120 échantillons de $\frac{0^m,50}{0^m,15}$ sur $\frac{0^m,60}{0^m,05}$ d'épaisseur.	Le bois de teck, employé dans les constructions navales. Teintes claires, grain serré, nuance rouge, très-veiné, nuance arajou. Panier, tapis, vases, gourdes, chapeaux de paille et de jonc.
Chine.	Quelques échantillons.	<i>Essences</i> : Bois de corail, de santal et de camphre.
Japon.	Une quinzaine d'échantillons, parmi lesquels: le pin, le sapin, le châtaignier, le bois de camphre, le mûrier, le prunier, le cerisier. Des tiges et des bambous de 0 ^m ,18 de diamètre sur 0 ^m ,012 d'épaisseur de bois.	Tapis en paille de couleur rouge et jaune, de forme carrée, 4 mètres de côté. Une belle collection de planches de bois très-légers.
Colonies néerlandaises. (Exposition faite par M. Sturler.) Java, Palembang, Moluques ou Célèbes, Bengkelen et Bornéo.	Très-belle collection de 460 échantillons de bois réunissant les variétés des Indes orientales. M. Sturler a fait une étude spéciale des essences résistant aux intempéries des saisons et aux ravages des tarets, essences formant le groupe connu sur le nom de <i>flora</i> des Indes orientales.	<i>Essences</i> : ébène, le bois de fer aussi dense que l'ébène. Le teck, propre aux constructions navales; d'autres essences utilisables dans la marine et inattaquables par les tarets et les acides. Des bois durs propres à l'ébénisterie.

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCRANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS LIÉGÈUX.
--------------------------------	---	--

AMÉRIQUE SEPTENTRIONALE.

Canada.
Exposition dirigée
par M. Taché,
Commissaire du
Canada.

Un pin jaune cubant 8^m,950, et autres blocs de pins. 50 rondelles d'arbres de 0^m,50 à 1^m,40 de diamètre sur 0^m,25 à 0^m,50 d'épaisseur.

30 planches débitées de 4 m. de long, 0^m,50 à 0^m,80 de large sur 0^m,08 d'épaisseur.

Une magnifique collection de 100 échantillons, de grandes plaquettes vernies, dimensions $\frac{0^m,80}{0^m,60}$, $\frac{0^m,60}{0^m,40}$ sur 25 millimètres d'épaisseur.

Cette collection et celle indiquée ci-après, faite par l'abbé Brunet, ont été achetées par le ministre de Prusse.

Une collection de :
50 rondins de 0^m,20 de diamètre et 0^m,25 de long.

M. l'abbé Brunet.
(Exposant.)

Un herbier photographié représentant des massifs et des arbres isolés.

Cèdre rouge, orme blanc, noyer dur, hêtre, mélèze; tilleul, pin blanc, jaune et rouge, tulipier.

Chênes : blanc, piqué et ondulé.

Noyers : tendre, noir et ondulé. Erable piqué formant dessins en larmes d'or d'un très-grand effet. Merisier rouge, frêne moiré à reflets d'or. La plaine blanche (utile pour gravure) et pour l'ébénisterie en placage.

Frêne gras pour charonnage et cercles de tonneaux. Quelques ouvrages légers : paniers, corbeilles, vases en bois exécutés avec goût.

Essences : Épinette rouge et grise, merisier rouge, cormier, bouleau blanc, pommelier jaune, orme blanc, cerisier noir, frêne, érable, tremble, chêne rouge, saule gris.

Densités de quelques essences de bois du Canada.

Tulipier	0,5	Orme blanc ...	0,65	Peuplier	0,5
Bois blanc ...	0,45	— gros ...	0,6	Pin rouge	0,65
Erable dur ...	0,75	Noyer tendre..	0,55	Pin jaune	0,5
— tendre	0,6	— noir ...	0,5	Sapin	0,4
Cerisier noir ...	0,6	— dur ...	0,9	Pruche	0,5
Frêne blanc ...	0,6	Hêtre	0,65	Épinette rouge.	0,6
— noir ...	0,65	Merisier rouge.	0,7	— blanche	0,45
Chêne blanc ...	0,8	Cèdre blanc ...	0,35	— noire ..	0,5

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS LIGNEUX.
--------------------------------	---	--

AMÉRIQUE MÉRIDIIONALE.

Pénitencier
de la
Guyane française.
M. Dumontell.
(Exposition hors
concours.)

130 échantillons de $\frac{0^m,30}{0^m,30}$, $\frac{0^m,30}{0^m,46}$ en plaque
de 0^m,10 d'épaisseur.

Une série de madriers magnifiques, longueur 6 à 7 m.; largeur 0^m,15, 0^m,20, 0^m,25 et 0^m,40 sur 0^m,12 d'épaisseur, dont voici les noms, les résistances et les usages. Le chêne est pris comme unité.

Tons très-variés.

ESSENCES DES BOIS.	RÉSISTANCES PROPORTIONNELLES	
	à la flexion.	à la compression.
<i>Chêne de forêt</i>	1000	1000
Couaie.....	»	1420
Balata.....	3325	3150
Coupi.....	1760	1660
Mahot noir.....	1820	2325
Wacapou.....	2000	2000
Sassafras.....	2000	2000
Angélique.....	2250	1830
Carapa rouge.....	»	»
Cœur dehors huileux.	»	»
Wapa.....	»	2240
Schawari.....	»	2110
Bois violet.....	2250	2650
Courbaril.....	4000	2825
Lemoine.....	»	1710
Lierre rouge.....	»	3170
Teck (qualité supér.)	2000	1920
Teck tendre.....	1000	1330
Taoub.....	2008	2000
Saint-Martin.....	2000	2325
Hêtre injecté.....	1420	1100
Peuplier.....	685	830

Ici pour terme de comparaison.

Mature très-liante.
Chevilles pour marines,
traverses.

Constructions navales,
planches.

Constructions.
Constructions navales,
ébénisterie.

Constructions navales.
— traverses.

Planches, voitures.
Parquet, moyeux, corps
de pompe, traverses pour
chemin de fer.

Palissades, traverses.
Jante de roues, bardeaux.
Ebénisterie, meubles, tra-
verses.

Bois de dimensions consi-
dérables, courbes de navires,
meubles.

Charpente, charonnage.
Marqueterie, arcs em-
ployés par les Indiens.

Traverses.

» » »
» » »
» » »

*Ici comme termes de com-
paraison.*

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS DE BOIS.
Martinique et Guadeloupe. <i>Exposition faite par M. Lillement. (Colonies françaises.)</i>	Belle collection de 135 pièces de bois représentées chacune par 3 échantillons; dimensions: 0 ^m ,10 sur 0 ^m ,04 et 0 ^m ,12 sur 0 ^m ,06, longueur 0 ^m ,15. 120 échantillons de $\frac{0^m,30}{0^m,30}$, $\frac{0^m,30}{0^m,15}$.	Brochure donnant la densité, la résistance à l'élasticité et à la compression. Gayac foncé, gayac officinal, clair et veiné de noir.
Colonies espagnoles et portugaises. <i>(Société de Santa-Cruz de la Palma.)</i>	Une cinquantaine de petits échantillons mal classés. 2 beaux échantillons de bois de Sandal provenant de Nara, l'un de 4 ^m ,50 de long sur 2 ^m ,10 de large et 0 ^m ,10 d'épaisseur, l'autre 3 ^m ,60 de long, 1 ^m ,95 de large sur 0 ^m ,10 d'épaisseur.	Ces contrées ont été très-riches, mais ont été dévastées.
Cuba.	Une bonne classification de bois très-variés d'une grande valeur commerciale.	Beaucoup de cèdres.
Brazil, Para et Amazonie. <i>M. Pimento-Bueno, exposant. (La plus riche expo- sition de l'Amé- rique méridionale.)</i>	<i>Exposition très-riche et très-considérable.</i> 250 espèces de bois représentées par 2 000 échantillons sous toutes les formes, débités en planches, en blocs de grandes dimensions, les uns bruts et présentant quelques faces travaillées, d'autres sous la forme de parallépipèdes équarris de 1 m. à 0 ^m ,80 de long et 0 ^m ,10, 0 ^m ,15, 0 ^m ,25 de côté bruts et travaillés. La plupart de ces bois ont une grande densité s'élevant jusqu'à 1,358. Une série de lithographies représentant les feuilles, fleurs et fruits des essences de bois classés par familles.	Tous ces spécimens éti-quetés. Renseignements sur la résistance, la densité et l'utilité. Catalogue très-étendu, publié par le gouvernement du Brésil. La plupart de ces bois sont inconnus en Europe, et sont très-propres aux constructions navales. D'autres essences peuvent rendre des services considérables à la pharmacie, à la teinture, à l'acclimatation.
Venezuela.	80 petits échantillons de bois très-foncés.	» » »
Victoria.	Cette exposition n'est pas en rapport avec la richesse du pays.	Pipes en bois de Myall.
République de l'Équateur.	180 échantillons de bois de $\frac{0^m,15}{0^m,08}$ et $\frac{0^m,40}{0^m,25}$.	Bois très-durs, foncés.
Confédération argentine.	120 échantillons de $\frac{0^m,00}{0^m,25}$, $\frac{0^m,00}{0^m,00}$ formant une collection très-complète. On remarque: le caoutchouc, le cibel (usage pour la tannerie), le cédral, analogue à l'acajou, des bois pour exploitations des mines.	Essences: frêne, quelques espèces rouges, très-denses. Engins pour débiter les bois et les manœuvrer.
Chili.	Même collection de bois que l'exposition de la Confédération argentine.	» » »
Pérou.	Point d'échantillon de bois.	Grands hamacs de couleurs tranchées. Tapis carrés en matière ligneuse, de couleur sombre, dessin en quinconce de 5 m. de côté. Chanvres, chapeaux de paille, matière ligneuse pour balais.

EXPOSANTS ET PROVENANCE.	QUANTITÉ, DIMENSIONS ET FORMES DES ÉCHANTILLONS DE BOIS.	NATURE, CARACTÈRE ET UTILITÉ DES PRODUITS DU BOIS.
Républiques de Costa-Rica, Ecuador, Haiti-Saint-Domingue, Uruguay, Paraguay.	Ces diverses localités ont été représentées par des échantillons sous forme de petits carrés, sans aucune indication ou désignés par des noms du pays. Il en résulte qu'il est impossible de les apprécier.	Toutes ces essences paraissent remarquables, et seront sans doute un jour appréciées à leurs véritables valeurs. Voir l'ouvrage de M. Tenré, consul de la République du Paraguay.

OCCÉANIE.

Exposition très-remarquable.

Nouvelle-Galles du Sud. Exposant, M. Ch. Moore, <i>Directeur du Jardin botanique de Sydney,</i> <i>et</i> <i>la Commission de l'Exposition.</i>	150 échantillons en plaques de $\frac{0^m,80}{0^m,55}$ à $\frac{0^m,80}{0^m,60}$ sur $0^m,40$ avec $0^m,10$ d'épaisseur. 180 échantillons de riches couleurs, dimensions $\frac{0^m,200}{0^m,100}$ à $\frac{0^m,300}{0^m,200}$ sur $0^m,10$ d'épaisseur. Une partie de cette exposition est faite par M. Ch. Moore et provient des districts septentrionaux; elle contient des espèces qui atteignent des dimensions extraordinaires. L'Eucalyptus, dont la naturalisation est étudiée en Algérie, aux Açores et en Espagne, bois très-précieux pour les constructions hydrauliques. Les districts méridionaux ont exposé, par les soins de la Commission de l'Exposition, 180 échantillons.	Un dessus de table de $1^m,20$ de diamètre assemblé par secteurs circulaires. Paniers, tapis, coupes en bois sculpté. Essences se rapprochant du hêtre et du frêne, d'autres du noyer. Le gommier rouge, le gommier bleu, l'écorce de fer, tous ces bois sont très-propres aux constructions.
Queen's Land Australie. M. Hill, exposant, <i>Directeur du Jardin botanique de Brisbane.</i> <i>Exposition du Jardin botanique de Kew.</i>	300 échantillons, dont 20 demi-rondins de 1 m. de long, et $0^m,25$ de diam.; 30 spécimens en plaquettes de 1 m. de long, $0^m,20$ à $0^m,60$ de large sur 5 à 6 centimètres d'épaisseur; 250 échantillons demi-rondins, de $0^m,40$ de long, diamètre de $0^m,20$ à $0^m,50$.	Tons très-foncés, bois très-durs, pouvant recevoir un très-beau poli.
Australie du Sud.	Deux beaux échantillons du bois de Myall, très-odorants (odeur de violette). 50 échantillons en plaques de $\frac{0^m,20}{0^m,00}$ à $\frac{0^m,60}{0^m,20}$ avec $0^m,10$ d'épaisseur. Une série très-considérable d'échantillons variés de couleur. Deux troncs de Grasstree, arbre très-riche en résine et propriétés utiles à la médecine.	On en fait des pipes recherchées. Bois très-durs; espèces se rapportant à l'Eucalyptus. Arbre propre à la médecine, à la teinture et à la fabrication du gaz d'éclairage.
Océanie. Nouvelle-Calédonie.	L'exportation la plus importante est le Sandal, qui devient de plus en plus rare. 120 petits échantillons, dont 40 ont reçu de la sculpture sous forme d'ornements divers, feuilles, fleurs et fruits.	Le pays est très-boisé, mais les communications sont difficiles. On y trouve le Sandal.

Étude des bois de l'Exposition universelle de 1867.

RICHESSES COMPARÉES DES RESSOURCES FORESTIÈRES DES DIVERS CONTINENTS.

Nous diviserons notre étude en deux parties :

1° L'étude des bois de l'Europe, dont le trait caractéristique est la *pénurie* toujours croissante, en même temps que la consommation et les besoins augmentent à mesure des progrès de l'industrie et du développement des chemins de fer ;

2° L'étude des bois non européens caractérisés par leur abondance et des qualités bien supérieures à celles des bois de l'Europe, et destinés à combler le vide qui s'y fait sentir et même à permettre la régénération et le repeuplement de nos forêts.

Bois de l'Europe.

Nous commencerons par la France, en y rapportant les expositions des autres contrées de l'Europe, qui étaient toutes représentées au concours universel pour la section des bois, à l'exception de la Prusse et de l'Allemagne.

La France, qui s'était abstenue à l'Exposition de 1855 à Paris et à celle de Londres en 1862, s'est distinguée en 1867 par l'exposition de l'École forestière de Nancy, montrant dans un ordre méthodique toutes les essences de bois de France représentées chacune par plusieurs échantillons provenant de diverses latitudes, de manière que l'on pût apprécier l'influence du climat et du sol sur sa qualité.

Il faut noter la carte forestière de France exposée par cette École et dressée sous la direction de M. Mathieu, donnant les rapports de la distribution des forêts avec la nature géologique du sol (1).

« On peut reconnaître que les forêts sont d'autant plus productives et mieux cultivées que les pays sont plus riches et plus peuplés ; d'autant plus dévastées que les contrées sont plus pauvres et plus misérables. Le bassin de Paris et celui de Bordeaux, les Vosges, le Jura, les Ardennes, sont couverts de magnifiques forêts, tandis que la Bretagne, les Alpes, les Cévennes, les montagnes de l'Auvergne, une grande partie des Pyrénées, en sont à peu près dépourvues, comme elles sont dépourvues d'ailleurs de culture et d'industrie.

« L'examen des échantillons de l'École de Nancy apprend aussi que la production d'une forêt dépend en grande partie de la manière dont celle-ci est traitée

(1) Appréciation de cette carte par M. Clavé, voir le *Temps*, 5 septembre 1867.

et qu'elle augmente considérablement par l'application du régime de la futaie et l'emploi de la méthode du réensemencement naturel et des éclaircies. »

Nous citons l'exposition unique de M. le comte des Cars, qui comptait au moins deux cents spécimens de coupes et de troncs d'arbres présentant les divers vices des bois sur pied, parmi lesquels un grand nombre avaient subi divers traitements de guérison (1).

Ce qui précède n'apprend rien sur la richesse forestière de la France; mais les statistiques apprennent qu'avant 1789, les forêts occupaient sur le sol de la France 12 millions d'hectares; aujourd'hui l'étendue forestière est réduite à 8 ou 9 millions; il n'est donc pas étonnant qu'on se plaigne de la pénurie du bois et que la France soit tributaire des pays étrangers.

Nous donnons ci-après des chiffres comparatifs sur les richesses forestières des principales contrées de l'Europe :

(1) Voir *l'Élagage des arbres*, par le comte des Cars, Rothschild, éditeur; ouvrage honoré d'une médaille d'or par la Société impériale et centrale d'agriculture.

Richesses forestières et exportation des contrées principales de l'Europe.

PAYS.	ÉTENDUE TERRITORIALE.	ÉTENDUE FORESTIÈRE	ÉTENDUE FORESTIÈRE PROPORTIONNELLE	PRODUCTION ANNUELLE.	VALEUR de L'EXPORTATION.	NATURE ET MOUVEMENT de L'EXPORTATION. OBSERVATIONS.
Europe....	948 millions d'hect.	240 millions d'hectares.	1/400 territoire	36 à 42 millions de stères de bois ou les 2/3 de la consommation qui est de 55 à 69 millions de stères.		
France....	53 millions.	8 à 9 millions.	1/6 id.			L'Italie, la Suède, la Norvège, la Russie, l'Allemagne, les États-Unis combinent le défilé.
Autriche..	67 id.	34 id.	1/2 id.		18 980 000 mètres cubes valeur 75 millions de francs.	Sapin, hêtre, épicéa. Exportation florissante qui pourrait être augmentée dans de grandes proportions.
Roumanie.	48 id.	8 id.	1/6 id.	100 millions (francs). 150 000 pieds cubes de bois fournis par la forêt de Moriana.	Un million et demi.	Exportation croissante.
Italie....	24 id.	3 800 000 hectares.	1/7 id.	80 à 110 mille pieds cubes fournis par la Toscane.	2 à 3 millions de kilog. de gros bois.	Usage pour la marine. L'exportation diminue. Les forêts sont en mauvais état.
Espagne..	48 id.....	.....	1/12 environ.	15 millions (francs).		L'exportation diminue. Les forêts sont en mauvais état.
Russie...	438 id.	169 millions dont 80 entre la mer Baltique et la mer Blanche, 10 millions dans le duché de Finlande.	1/3 id.		En 1850: 10 millions de pieds cubes. En 1865: 20 millions de pieds cubes, valeur 20 millions de francs.	Les forêts sont très-éclaircies. L'exportation augmente.
Suède et Norvège.	85 400 000 id.	35 600 000 hectares.	7/17 id.	57 millions (francs). La production diminue.	3 millions de stères, valeur 42 millions. 24 millions de stères, valeur 45 millions.	Bois ouvré, planches, madriers, mâts, verges. Exportation en Australie de planches travaillées et débitées pour être mises en place. Forêts éclaircies. Le reboisement s'y poursuit activement.
Angleterre	30 millions.		1/24 id.			
Allemagne		très-riche.	1/3 au 1/4			
Prusse...		id.	1/3 au 1/5			

D'après ces quelques chiffres, on voit que la France doit payer un tribut onéreux pour combler le déficit considérable entre sa production et sa consommation. On voit aussi que la pénurie sur les bois n'est pas exclusive pour la France, qui en souffre le plus des pays de l'Europe, qu'elle tend à frapper entièrement, si l'on n'y remédie par le reboisement et par de sages mesures d'exploitation.

Revenons à l'Exposition, pour y étudier en détail la nature des ressources de chaque pays.

Autriche. — Cette contrée, ainsi que le montrait son exposition colossale, massive, est encore fort riche en bois. Son exportation, déjà très-importante, est appelée à un grand développement. Les provinces de la Galicie et de la Bukovine donnent des arbres excellents pour la mâture. Les *épicéas géants* s'y rencontrent avec des hauteurs de 66 mètres et 1 mètre de diamètre. Le sapin est moins élevé, mais plus gros. Les sapins de 1^m,25 de diamètre avec 47 mètres de hauteur ne sont pas rares (1). La Transylvanie, le Banat contiennent d'immenses forêts, mais les routes manquent; on commence à ouvrir des voies de communication.

Dans un grand nombre de contrées de l'Autriche, le bois se vend à peine quelques francs le mètre cube, faute de moyens de transport.

Roumanie. — Cette contrée, limitrophe de l'Autriche, a donné de beaux spécimens de bois des monts Carpathes. La richesse forestière de ce pays est très-grande; les forêts occupent le 1/6 de son étendue et comprennent 8 millions d'hectares. La consommation annuelle du bois est de 100 millions dans le pays. En 1863, l'exportation a été d'un million et demi. Au sommet des monts Carpathes, les essences de bois sont le mélèze, le sapin, le pin, le genévrier et le bouleau; plus bas, le frêne, le chêne rouvre, l'érable, le hêtre, le noyer, le sorbier, et dans les plaines, le chêne yeuse, le frêne, l'orme, le charme, le tilleul, l'acacia. Plus de 600 scieries préparent les bois de construction. La Roumanie a exposé de beaux objets de boissellerie. Ce pays offrira de grandes ressources lorsque des communications seront établies.

Russie. — L'étendue des forêts est environ les 7/10 de l'étendue forestière de l'Europe; elles ont été négligées et dévastées; mais, depuis 1859, le gouvernement s'en occupe activement.

La Russie s'est distinguée à l'Exposition par une collection scientifique de ses bois et par des goudrons et produits ligneux propres à diverses applications.

Le grand-duché de Finlande est en grande partie couvert de bois.

L'administration forestière, instituée en 1859, s'occupe de protéger ces vastes forêts qui représentent un capital immense. En 1867, il existait plus de 11 millions d'arbres propres à être abattus. L'espèce d'arbre la plus importante est le pin, qui forme la plus grande partie des bois de l'exportation.

(1) Voir une brochure : *les Richesses forestières de l'Autriche et leur exploitation*, de Josef Wessely, ancien inspecteur général des domaines en Autriche.

La végétation se ralentit vers le nord, mais la qualité du bois augmente. Nous empruntons à une brochure, qui accompagnait l'exposition des bois du duché de Finlande, les documents suivants :

On trouve la hauteur moyenne des arbres, les jeunes troncs y compris, indiquée dans ce tableau :

De 66° à 67° lat. nord . . .	20 mètres.
62° à 63° — . . .	25 mètres.
61° à 62° — . . .	27 à 30 mètres.

La même brochure ajoute :

Quant à l'âge que les arbres doivent avoir pour devenir propres aux usages divers sous différentes latitudes, le tableau qui suit peut donner quelques indications générales :

	Pin de marine.	Pin de sciage.	Pin à bâtir.
66° à 67° . . .	295 ans.	236 ans.	141 ans.
62° à 63° . . .	268 —	205 —	125 —
61° à 62° . . .	246 —	195 —	115 —

Suède et Norvège. — Ces contrées n'ont point exposé de collections de bois ; mais on sait que la Suède est une des contrées les plus boisées après la Russie (1).

« La Norvège, qui n'a exposé que des chalets, est très-productive en forêts. La Norvège, encore plus que la Suède, fait un prodigieux commerce de bois. Les navires de ces deux royaumes apportent à toutes les nations de l'Europe des bois de charpente et de construction. »

En Norvège, 3 300 scies, fonctionnant par des moteurs hydrauliques, occupent 8 000 ouvriers.

Espagne et Portugal. — Les forêts espagnoles ont été dévastées comme la plupart des forêts de l'Europe ; mais il y a déjà une amélioration due à la direction du corps des ingénieurs des forêts, élèves d'une bonne école, fondée par le gouvernement il y a une vingtaine d'années. L'exposition espagnole était très-méthodique ; elle a présenté des ouvrages scientifiques très-intéressants. Le Portugal soutient toujours sa réputation pour son liège, dont il fait une exportation importante.

Italie. — Les richesses forestières diminuent rapidement, bien que son exposition ait été très-belle. Près de Ravenne se trouve une très-belle forêt de pins pignons d'une étendue de 5 000 hectares.

La Toscane contient encore de belles forêts de chênes.

La Sardaigne n'a rien exposé, bien qu'elle possède de belles forêts et de beaux chênes renommés pour la marine.

La Prusse et l'Allemagne n'ont rien exposé ; cependant cette dernière est un des pays les plus boisés de l'Europe ; le 1/3 du territoire est couvert de bois.

L'Angleterre n'a point exposé ses bois ; mais elle était scientifiquement repré-

(1) Michel Chevalier, dans son Introduction aux rapports du jury international.

sentée par une belle collection des bois de ses colonies. Le reboisement est à l'ordre du jour en Angleterre et est dû à l'initiative des particuliers.

La *Turquie* et la *Grèce* n'ont rien exposé.

Les bois non européens.

Afrique.

Algérie. — Pendant longtemps encore l'Afrique ne donnera rien par ses forêts, qui sont inexploitable. L'Algérie seule représentait l'Afrique pour ce qui concerne les bois; son exposition était riche et fait naître de grandes espérances pour les études que l'on y fait de l'acclimatation de l'*Eucalyptus globulus* ou gommier bleu de l'Australie, et qui ont déjà un excellent résultat, à en juger par deux beaux échantillons présentés par le Jardin d'acclimatation d'Alger. Pour faire comprendre toute l'utilité de cette acclimatation, il suffit de rappeler que, dans les colonies méridionales de l'Australie, les *Eucalyptus*, qui forment des variétés très-nombreuses, sont des arbres dont le bois durcit lorsqu'il est exposé quelque temps à l'air; la résine dont il est imprégné se coagule et lui fait acquérir une très-grande *durée*, même sous l'eau; cette propriété le rend propre aux travaux hydrauliques; de plus, cet arbre donne des gommés, des huiles et des résines de qualité supérieure.

L'exposition algérienne montrait une magnifique exposition de bois et de produits forestiers comprenant des résines et des gommés de toutes essences. La plupart de ces matières viennent du *Sénégal* et du *Gabon*. Le produit le plus important des forêts de l'Algérie est le chêne-liège. Sur un million d'hectares possédés par l'État, on compte plus de 300 000 hectares plantés de chênes-lièges purs, ou mélangés d'autres essences. Cet arbre, qui appartient à la région méditerranéenne, est très-abondant en Espagne, en Italie, dans le midi de la France, et surtout en Algérie, où il forme à lui seul des forêts considérables. Le liège est enlevé à peu près tous les 10 ans, de manière que chaque arbre peut, jusqu'à l'âge de 150 ans, donner 12 à 14 récoltes.

On trouve aussi le cèdre, le chêne zéen, le caroubier, le pin d'Alep, dont les bois sont propres aux constructions et à l'ébénisterie. Jusqu'à présent, l'exploitation n'a pu être régulière, par suite des difficultés de transport et de la dévastation des Arabes. On trouve aussi en Algérie le chêne yeuse sur une étendue de 100 000 hectares, qui est très-bon pour l'ébénisterie et les parquets. On y étudie l'acclimatation du pin des Canaries.

Asie.

Cochinchine et colonies des Indes françaises. Colonies des Indes anglaises (1). — Bien que la Cochinchine et les possessions françaises de l'Inde aient été représentées dans les collections exposées par l'Administration des Colonies, les bois de l'Inde anglaise sont les seuls du continent asiatique qui soient l'objet d'un commerce de quelque importance. Dans l'Inde et en Birmanie, les forêts occupent de vastes étendues, et les Anglais y trouvent des ressources pour l'approvisionnement de leurs arsenaux. De toutes les essences, la plus précieuse est le *teak*, qui est originaire de Malabar et du royaume de Siam. Il se rencontre dans les forêts de l'Inde méridionale; son bois est très-dur, facile à travailler, peu sensible aux variations de température et très-bon pour les constructions navales. Les pièces de charpente sont amenées par des éléphants des forêts de l'intérieur de l'Inde jusqu'au cours d'eau le plus voisin, d'où elles sont flottées jusqu'à la mer et expédiées à Moulins et Rangoo, les deux principaux entrepôts de ces bois. On trouve aussi d'autres bois très-durs et propres à l'ébénisterie : au nord de l'Himalaya, le cèdre *déodora*, qui forme des forêts immenses d'un aspect grandiose. L'Inde fournit aussi l'acacia catechu (qui donne le cachou), le bois de sandal, dont le parfum est très-apprécié des Chinois, qui s'en servent comme encens dans les temples de Bouddha.

Les Indiens du Pacifique en font usage pour parfumer l'huile de coco dont ils s'enduisent le corps et les cheveux. On l'exporte en bûches de 1 à 2 mètres de long et 10 à 15 centimètres d'équarrissage, et il se vend de 50 à 75 francs les 100 kilogrammes.

Ces colonies ne peuvent encore alimenter une grande exportation, parce que l'ébénisterie et la marqueterie peuvent seules supporter les frais de transport. Les richesses des forêts de l'Inde sont immenses; mais le vide s'y fait sentir par suite des dévastations faites par les natifs. Les Anglais y organisent une administration des forêts et ont envoyé à cet effet en France et en Allemagne des jeunes gens destinés à y acquérir les connaissances nécessaires pour être à la tête de cette administration.

Dans l'Inde et à Java, on acclimata avec succès le chincona (riche en quinine), originaire du Pérou. Les colonies des Indes anglaises étaient représentées par les expositions de Nova-Scotia et Trinidad, qui comprenaient plusieurs centaines de spécimens de grandes dimensions.

La Chine a envoyé très-peu d'échantillons de bois : bois de corail, de santal et de camphre.

La collection du Japon se composait d'une quinzaine d'échantillons et de tiges

(1) Ces renseignements sont extraits d'un article de M. Clavé, publié dans le *Temps* en septembre 1867.

de bambous. Parmi les bois, on trouve des essences européennes : cyprès, pin, sapin, châtaignier, mûrier, prunier, cerisier et quelques nouvelles essences.

Amérique.

Amérique septentrionale. Canada. — En 1855 et 1862, les expositions du Canada ont révélé des richesses inconnues. L'exposition de 1867 a été très-remarquable, sans dépasser celle de Londres de 1862. Les richesses forestières du Canada sont considérables. Sur 40 000 lieues carrées de territoire, un dixième est à peine livré à la culture, les neuf autres dixièmes sont boisés. Le transport des bois se fait par le fleuve immense le Saint-Laurent, qui reçoit de nombreuses rivières qui permettent le transport des bois jusqu'à Québec, d'où ils sont exportés dans le monde entier. L'exportation annuelle dépasse 60 millions de francs, la production un million et demi de stères de bois exportés et un million consommé dans le pays. L'exploitation des forêts occupe 3000 entrepreneurs et 20 000 ouvriers bûcherons et flotteurs. Les essences de bois exportés sont le *chêne*, moins nerveux que celui d'Europe; le *tamarac*, très-dur et très-bon pour les constructions navales et hydrauliques; le *pin rouge*, le *pin jaune*, le *noyer noir*, bon pour l'ébénisterie, et l'*érable*.

Le Nouveau-Brunswick, près du Canada, fait également le commerce des bois et la construction des navires. Le port de Saint-John ne tardera pas à rivaliser d'importance avec celui de Québec. Les États-Unis ont envoyé une collection insignifiante de bois, bien que l'on sache très-grandes leurs richesses forestières; suivant Michaux, ils ne posséderaient pas moins de 130 espèces d'arbres atteignant des hauteurs de 25 à 30 mètres. Les États-Unis fournissent à l'Europe beaucoup de bois de construction et des navires. L'exportation peut être mesurée par le chiffre énorme de l'impôt sur les bois, qui s'est élevé en 1865 à près de 56 millions de dollars (302 400 000 fr.).

Amérique méridionale. — L'île de Cuba a exposé des échantillons bien classés. Elle fournit des cèdres à l'Angleterre. La Guyane française a fait l'admiration des visiteurs par sa collection de grands et magnifiques échantillons de 4 et 5 mètres de long, tous propres aux travaux de constructions hydrauliques et aux traverses de chemins de fer. La supériorité de ces essences sur celles de l'Europe, dont la plupart ont des résistances doubles et même quadruples de nos bois, et leur durée quintuple leur assignent dans l'avenir industriel une des premières places. Depuis longtemps, on connaît la supériorité de l'essence angélique sur le chêne dans les constructions navales; mais une exploitation régulière dans la Guyane n'est pas chose facile; les transports sont chers; il en résulte que toutes les réserves forestières lointaines n'offrent pas à beaucoup près de grandes ressources pour l'Europe. Les bois non européens sur les marchés français sont d'un prix très-élevé qui en retarde l'emploi.

Nous renvoyons à l'ouvrage de M. Aubry-Lecomte, qui donne des renseignements très-détaillés sur les bois de la Guyane française.

Les gouvernements anglais et français s'occupent de mettre en valeur les forêts de la Guyane, dont les bois, excellents pour la marine, ont la réputation d'être inattaquables par les insectes et les tarets (mollusques marins). Bon nombre d'essences des bois de la Guyane se retrouvent dans le Brésil.

Un grand nombre de pays éloignés ont pris part à l'Exposition; la multiplicité et la variété des échantillons, ainsi que leurs qualités précieuses ont été un événement pour les Européens. Dans les Expositions précédentes, le Brésil n'avait point marqué sa place; en 1867, il occupait le premier rang et était l'événement dominant de la section des bois. Parmi les nombreuses collections, la plus considérable numériquement était celle du Brésil. Quelle profusion, quelles richesses! 2000 échantillons, formant au moins 350 essences de bois, presque tous inconnus aux Européens. L'exposition était organisée avec beaucoup de soin, étiquettes, renseignements de toute nature, brochures très-développées, donnant les noms des diverses espèces et leurs qualités, emplois, densités. Depuis longtemps, c'est du Brésil que nous viennent les bois d'ébénisterie et de teinture, tels que l'acajou, le palissandre, le campêche; il est regrettable que les forêts y soient d'un accès difficile, et il faudra encore quelques années pour que l'Europe puisse facilement dans ces richesses immenses.

Le Brésil présente les arbres les plus extraordinaires; le rapport de M. Fournié peint avec des couleurs poétiques les proportions surprenantes de certaines essences dans les termes suivants : « La *Victoria-Régia* couvre les eaux de ses feuilles de 7 mètres de circonférence et de ses fleurs de 1^m,50. Au bord des rivières, le cacao, le caoutchouc forment des masses imposantes; plus loin, le copaïer, le bois de rose et autres essences recherchées s'étendent en vastes forêts. » La plupart de tous ces bois sont propres aux travaux de construction navale et civile; ils offrent à l'industrie de l'ébénisterie les plus belles variétés; d'autres essences peuvent être utilisées dans la teinture, pour la médecine; enfin, bon nombre donnent des produits alimentaires. D'après le catalogue publié par le gouvernement brésilien, un grand nombre d'arbres du Brésil atteignent des hauteurs de 18 et 20 mètres, avec des diamètres de 1, 2 et 3 mètres. Le Brésil a exporté en 1865 pour une valeur de près de 3 millions de francs de palissandre. Parmi les nombreuses espèces intéressantes, citons le *palmier carnauba*, dont le fruit et le noyau servent d'aliment et donnent une bonne boisson. Les feuilles servent à couvrir les maisons, à faire des cordages, des filets, des chapeaux et du papier. Le bois est très-dur, élastique et sert à l'ébénisterie; on en fait des tasses, des coupes et aussi des pilots inaltérables à l'eau de mer. Les feuilles se recouvrent d'une matière pulvérulente dont on fait de la cire à bougie.

D'autres parties de l'Amérique centrale et méridionale ont exposé des bois très-remarquables. Telles sont la Confédération Argentine, la Bolivie, le Vénézuéla, l'Équateur, les républiques de Costa-Rica, Nicaragua, San-Salvador, Uruguay, Paraguay, le Chili, Victoria, Trinidad et la Martinique.

Océanie.

Australie. La *Nouvelle-Galles du Sud* a donné l'exposition la plus remarquable de l'Australie. 350 spécimens de magnifiques bois formaient cette exposition. 150, qui provenaient des districts septentrionaux, ont été présentés par M. Ch. Moore, directeur du Jardin botanique de Sidney. Les autres provenaient des districts méridionaux. Les arbres de l'Australie sont peut-être les plus extraordinaires du globe pour leurs dimensions gigantesques. Dans la partie septentrionale, on trouve la *fougère arborescente*, l'*hortie géante*, qui atteignent jusqu'à 12 mètres de tour et 70 mètres de hauteur; le *figier géant*, qui n'a pas moins de 30 mètres de tour; le *cèdre rouge à tronc droit*, couvert d'une écorce brune écailleuse dont le bois est dur et d'une grande beauté; l'*araucaria*, arbre de 80 mètres de hauteur sur 3 mètres de tour. Il faut mentionner une essence intéressante qui était représentée à l'Exposition par deux troncs, le *gras-tree*, dont on fait du gaz d'éclairage et sur lequel on expérimente dans une des villes de l'Australie. Dans la partie méridionale, certains arbres se rapprochent de ceux de nos climats, le hêtre et le frêne; mais les bois les plus précieux sont l'*acacia mélanogloss*, dont le bois noir est d'une grande beauté et a quelque analogie avec le noyer; les *eucalyptus*, dont les nombreuses variétés ont souvent été prises pour des espèces différentes, tels sont le gommier rouge, le gommier bleu, l'écorce de fer et beaucoup d'autres, tous très-bons pour les constructions (1). On tire de ces arbres des gommés, des résines et des huiles qu'on emploie pour l'éclairage et pour la fabrication des vernis. C'est l'essence eucalyptus d'Australie, qui fait l'objet d'études d'acclimatation en Algérie, en Espagne et aux Açores (possession portugaise).

L'exposition de l'Australie se répartissait entre les pays : Australie du Sud, Queens' Land, la Nouvelle-Galles du Sud. Enfin, la colonie néerlandaise mérite d'être signalée pour son exposition de bois des Indes Orientales faite par M. Sturler. La collection présentait 460 échantillons, parmi lesquels on trouvait le bois d'ébène, de fer et de teak.

La *Nouvelle-Calédonie* a envoyé quelques échantillons; les rapports officiels apprennent que le pays est très-boisé et que les essences sont très-nombreuses.

Conclusion.

Il ressort visiblement des études faites à propos de l'exposition des bois, que la France, en particulier, et l'Europe entière ont beaucoup à gagner des autres continents. Déjà l'Europe ne se suffit plus à elle-même, la pénurie et l'incurie

(1) Le *Génie civil* dit que les eucalyptus globulus peuvent atteindre 105 mètres avec 9 mètres de diamètre, et fournissent des madriers de 60 mètres de longueur, sans défaut, d'un prix modique dans le pays, tant les forêts de cette colonie sont riches en cette espèce.

qu'elle présente sont de vieille date. M. Michel Chevalier dit à ce sujet (1) : « Il faut reconnaître que, dans les pays même où le bois était le plus abondant et où naguère on considérait les forêts comme une superfluité embarrassante, les déboisements ont marché si vite, qu'il y a lieu désormais d'y moins produire le combustible végétal et le bois sous toutes les formes. Une partie des États-Unis est dans ce cas, et dans l'empire de Russie, même parmi les provinces du nord, à Moscou, par exemple, le bois de chauffage est aussi cher qu'à Paris. Ce ne sont pas seulement le défrichement et la dévastation qui font disparaître les forêts, quoiqu'ils y contribuent pour une grande part. Dans les localités qui sont à une médiocre distance des fleuves navigables, et à plus forte raison de la mer, on exploite, si la vente est facile, jusqu'à épuisement, pour avoir des bois de charpente et de menuiserie. L'industrie se répand partout aujourd'hui, et lorsqu'elle trouve des mines métalliques à portée des forêts, elle dévore les bois avec une telle avidité, qu'il devient indispensable, même dans les territoires surabondamment pourvus, de donner des soins attentifs aux forêts pour lesquelles jusqu'ici l'on n'avait aucuns soucis. »

Ainsi, d'un côté, l'Europe présente une grande pénurie, tandis que d'autres parties du globe, l'Amérique et l'Australie, offrent des richesses forestières séculaires. A ce sujet, M. Michel Chevalier dit : « Qu'il est hors de doute que les forêts sans limites de la vallée des Amazones fourniraient à notre ébénisterie des matières fort avantageuses et en quantité inépuisable ; il est même possible qu'on en tire, à l'usage des chemins de fer, des traverses qui se recommanderaient par leur grande durée, à ce point que, malgré les frais de transport, il y ait intérêt à s'en servir de préférence à toutes les essences de nos forêts. La question est maintenant à l'essai, sur notre propre territoire, au moyen d'un certain nombre d'échantillons envoyés par le gouvernement brésilien. »

Nous extrayons du *Génie civil* les considérations suivantes, d'après lesquelles le bois a encore une importance extrême dans la marine :

« Il ne faut pas croire que, par suite de la substitution incessante du fer au bois dans la construction navale, la production de ce dernier deviendra sans objet un jour pour cette application. Les documents qui ont été publiés et les discussions qui se sont produites tendent à prouver le contraire.

» A dimensions égales, les navires en fer pèsent plus et coûtent plus cher que les navires en bois, et ils fatiguent plus à la mer ; sous les tropiques, ils se détériorent davantage. Il est notoire que les navires même en fer ne peuvent résister aux moyens de défense qui augmentent encore plus rapidement que le perfectionnement des blindages. »

Partout on sent la double nécessité de parer à l'éventualité de chauffage qui résulte de l'épuisement de la houille et, malgré le fer, à la régénération incessante des constructions navales par le bois.

Il faut reconnaître que, depuis les Expositions de 1855 et 1862, de grands progrès se sont accomplis ; d'abord par rapport à l'Europe, la question du

(1) Introduction aux rapports du jury international.

reboisement est à l'ordre du jour dans chaque contrée, et par rapport à tous les pays du globe, les bois et les forêts ont été l'objet d'expériences de toute nature. Tous ces progrès sont heureusement esquissés par M. Fournié (1) :

« L'Europe, en complétant l'exposition de ses bois, y a joint des travaux scientifiques remarquables. L'Afrique et l'Océanie sont représentées dignement par des collections spéciales. L'Asie montre, à côté des essences connues, quelques nouveaux produits du Japon et de la Cochinchine. L'Amérique confirme l'étendue de ses ressources si habilement exploitées au nord. Les richesses du centre et du sud attirent l'attention et étalent toute leur splendeur dans les expositions de la Guyane et du Brésil. »

A ce tableau de faits expressifs, on peut ajouter les espérances que font naître la révélation des richesses forestières de l'Australie, l'acclimatation en Afrique des essences précieuses de cette contrée et la communication rendue facile de l'Europe avec l'Australie par le prodigieux canal de Suez. L'emploi des bois du Brésil et de l'Australie en Europe, si elle se réalise, pourrait produire, dans une certaine mesure, l'économie de la houille et du fer; cette économie résulterait de ce que les bois non européens ayant des qualités de *résistance* et de *durée* double et même quadruple de nos meilleurs bois d'Europe, le bois pourrait reconquérir une des premières places dans les constructions et être employé concurremment avec le fer et la fonte, en réservant ces derniers pour les cas spéciaux des travaux d'art à grande portée, tels que ponts, viaducs, etc.

Mais l'industrie ne pourra profiter des richesses vivantes et si largement étalées de l'autre côté de l'Atlantique qu'à la condition de les ménager et d'en réserver le fonds social, en procédant autrement que par des déboisements inconsidérés comme ceux faits en Europe. A cet égard, on fera bien de méditer ces paroles de M. Michel Chevalier : « Un système de culture peut régénérer les forêts et en faire pour l'espèce humaine un réservoir inépuisable de calorique et de force motrice. »

La consommation de la houille et celle des minerais de fer prend un développement tellement considérable que, d'ici peu de siècles, toutes ces ressources seront bien diminuées, si elles ne sont pas entièrement absorbées, et pour prévenir une crise qui serait le recul de l'industrie, il ne faut pas moins de tous les efforts de tous les pays, c'est-à-dire poursuivre simultanément le reboisement et l'exploitation régulière, l'acclimatation des espèces précieuses de l'Australie, et surtout la *facilité du transport* dans tous les continents, et enfin une foule d'études sur les bois non européens, sur la conservation de nos propres bois par divers procédés, soit d'injection, soit de carbonisation, et enfin essayer à donner au bois une nouvelle propriété, l'incombustibilité.

L'Exposition universelle de 1867 a donné de nombreux renseignements sur les bois non européens, parmi lesquels un très-grand nombre peuvent fournir des ressources à la charpente, à la marine et aux chemins de fer. On trouvera, dans les tableaux ci-après, les données pratiques les plus importantes.

(1) Rapport du jury international (1867).

Extrait du catalogue de M. Aubry-Lecomte, qui accompagnait la collection des bois exposés par les colonies françaises de la Guyane.

DÉSIGNATION des BOIS.	DENSITÉ DU BOIS		RÉSISTANCES MÉDIANNES	USAGE, PROPRIÉTÉ. OBSERVATIONS.
	sec.	vert.		
Bagasse.....	0.745	1.13	214	Arbre de grande dimension, très-droit; excellent pour parquets.
Cèdre jaune.....	0.489	0.606	145	Bon pour planches.
Bois de rose mâle...	1.408	1.226	361	Bois dur, compacte, traverses pour chemins de fer, inattaquable aux tarets.
Bois cannelle.....	0.8	1.07	184	Arbre de grande dimension, odeur de cannelle, inattaquable aux tarets; traverses de chemins de fer, constructions navales.
Cèdre noir (marécage).	0.648	0.818	159	Grande dimension; incorruptible, bordages extérieurs de navire, traverses.
id. (montagne).	0.530	0.670	130	
Palétuvier blanc.....	0.768	1.104	146	Bois haut et droit; petites mûtures, excellent pour constructions dans la vase salée.
Palétuvier rouge.....	1.017	1.218	297	
Ébène verte.....	1.210	1.220	481	Grain fin et serré; très-bons pour les constructions. A la Guyane trois variétés : la verte, la grise, la noire.
Balata blanc.....	0.972	1.208	247	Bois de charpente, léger, élastique, servant à construire les avirons.
Balata rouge ou saignant	1.100	1.232	353	Très-grand arbre dont le bois est bon pour chevilles de marine et bois comprimés. La sève donne une sorte de gutta-percha très-bonne pour la garniture des câbles électriques sous-marins.
Balata singe rouge....	1.043	1.117	280	Bois de charpente pour traverses.
Bois rouge ou bois encens.....	0.662	0.856	186	Grand arbre, d'un bon emploi pour les constructions à couvert et pour les courbes de constructions navales.
Carapa rouge.....	0.659	0.882	»	Planches, lattes, caisses de voitures.
Carapa blanc.....	0.659	0.830	171	L'écorce sert au tannage.
Schawari.....	0.820	1.187	211	Pirogues, bardeaux, jantes de voitures, constructions navales, ailes de moulins.
Hévé (caoutchouc) ou lettre rouge.....	1.038	1.175	317	Bois blanc peu compacte, fournissant le caoutchouc. Les Indiens s'en servent pour faire des arcs.
Cèdre blanc ou cèdre bagasse.....	0.842	1.036	226	Excellent pour constructions, meubles, pirogues, donnant une résine bonne pour l'éclairage.
Simaruba officinalis..	0.403	0.548	96	Analogue au pin, facile à travailler et bon pour les intérieurs de maison; inattaquable par les insectes.
Couaie.....	»	»	142	Bois commun très-liant, excellent pour mûtures.
Grignon franc.....	0.714	0.936	172	Arbre de grande hauteur et donnant des planches de 0 ^m ,30 à 0 ^m ,90 de large. Construction de bateaux.
Grignon fou.....	0.577	1.039	146	Léger, mêmes usages que le sapin.

DÉSIGNATION des BOIS	DENSITÉ DU BOIS		RÉSISTANCES MÉCANIQUES.	USAGE, PROPRIÉTÉ. OBSERVATIONS.
	sec.	vert.		
Mahot couratari.....	1.054	1.208	318	Constructions. Traverses de chemins de fer et constructions navales. Employé à Surinam à la confection des maisons, malgré son odeur désagréable.
Coupi.....	0.819	1.063	179	Facile à fendre, employé pour clayonnage et jantes de roues.
Bois gaulette.....	1.196	1.254	303	Arbre de grande dimension, bois dur, solide, très-durable, pouvant subir une grande pression, employé pour arbres et roues de moulins.
Gaïac de Cayenne ou Févier de Tonka...	1.153	1.213	385	Arbre dont le tronc s'élève sans ramification jusqu'à 24 m. de haut., diam. 2 à 3 m., couleur acajou; employé aux constructions navales. Les Indiens en font des canots.
Courbaril.....	0.904	1.191	333	Bois de première qualité et de grande dimension, fort estimé pour constructions navales, inattaquable par les insectes et les tarats. Employé pour quilles, grosses pièces et membrerie, et donnant des madriers de 15 à 20 m. de long, sur 0 ^m ,30 et 0 ^m ,50 d'équarrissage.
Angélique, très-commun à la Guyane..	0.746	0.851	215	Arbre de grande dimension, propre à toute espèce de construction. Bois pourpré, brun ou noir, dur, très-élastique, employé dans les colonies anglaises pour les plates-formes et crapaudines de mortiers.
Bois violet ou amarante	0.771	0.967	231	Parquets, moyeux, corps de pompe, flasques d'affûts de canons et traverses de chemins de fer.
Cœur dehors.....	0.991	1.224	283	Constructions, palissades, bardeaux, traverses de grande durée en terre.
Wapa huileux.....	0.930	1.224	224	Bois incorruptible, bon pour constructions navales, traverses de railways et ébénisterie.
Wacapon ou épi de blé.	0.900	1.113	304	Charpente et charonnage.
Bois pagayes.....	0.800	1.025	239	Arbre de 15 m. de haut et 2 ^m ,40 de diam., bois noir à aubier blanc, très-compacte, incorruptible, bon pour palissades et ébénisterie.
Panococo (Iron Wood).	1.181	1.231	400	Arbre de grande dimension, peu employé.
Bois crapaud (peu commun).....	1.120	1.235	340	Bois de charpente et de membrerie pour l'intérieur des bâtiments; solide et durable, s'il n'est pas exposé aux intempéries de l'atmosphère. Il donne des billes de 0 ^m ,33 à 0 ^m ,65 de large sur 9 à 12 m. de long.
Saint-Martin, abondant à la Guyane.....	0.912	1.102	229	Grand et bel arbre, commun, employé pour constructions et marquelage.
Préfontaine.....	0.827	1.166	207	Bois de grande dimension, à aubier jaune clair, très-dur, employé pour le pouliage.
Bois de coco, ou cœur brun-noir.....	1.208	1.234	402	

DÉSIGNATION des BOIS.	DENSITÉ DU BOIS		RÉSISTANCES PROPORTIONNELLES	USAGE, PROPRIÉTÉ, OBSERVATIONS.
	sec.	vert.		
Bois amer.....	0.703	1.142	170	Planches, traverses pour railways, longrines, quilles et carlingues. Bon bois de charpente donnant une couleur amarante. Bois de grandes dimensions. Traverses pour chemins de fer, longrines, constructions navales. Bois dur, compacte, incorruptible, bon pour traverses de railways.
Panapi.....	0.835	1.008	248	
Maria Congo.....	1.049	1.164	339	
Mincouin ou Mincouart.	0.952	1.135	347	

Bois du Brésil, communs à la Guyane française. Densités et résistances déterminées par M. Dumonteil.

NOMS BOTANIQUES DES BOIS.	DENSITÉ du BOIS SEC.	RÉSISTANCES PROPORTIONNELLES.
Diopellium curyaphyllum.....	0.648	184
Aniba Guyanensis.....	0.484	145
Avicennia nitida.....	0.708	146
Tecoma leucoxylon.....	1.211	481
Humirium floribundum.....	0.446	102
Maroubea coccinea.....	0.714	174
Carapa Guyanensis.....	0.659	2
Guarea Aubletii.....	0.365	95
Leica altissima.....	0.842	226
Sinaruba officinalis.....	0.403	96
Rhizophora mangle.....	1.017	297
Couratari Guyanensis.....	1.054	318
Lecythis grandiflora.....	1.003	239
Centrolobium robustum.....	0.875	255
Dipterix odorata.....	1.153	385
Hymenaea Courbaril.....	0.904	333
Dicoronia Paraensis.....	0.746	215
Eperua falcata.....	0.930	224
Andri Aubletii.....	0.990	304
Copaifera bracteata.....	0.771	331

Nous donnons ci-après un tableau dans lequel nous avons condensé quelques indications sur quelques-unes des nombreuses essences des bois du Brésil. Nous renvoyons pour plus de détails à la notice qui accompagne leur exposition (1).

(1) Breve noticia sobre a collecção das madeiras do Brasil. (1867), Rio de Janeiro.

Aperçu des bois du Brésil.

NOMS DES BOIS et LIEUX DE PROVENANCE.	HAUTEUR des ARBRES.	DIAMÈTRE des ARBRES.	USAGE, PROPRIÉTÉS. OBSERVATIONS.
Abiu-rana des provinces de l'Amazones et du Para...	11 à 13 ^m	1 m.	Constructions civiles et navales.
Ahucega, Icaia (Rio de Janeiro).....	10 m.	1 m.	Bois résineux; résine recherchée dans la médecine et les arts.
Amoreira, Maclaura (Rio de Janeiro et Bahia).....	5 m.	0 ^m ,50	Menuiserie.
Carapa Guyanensis (nord du Brésil).....	16 m.	2 m.	Constructions civiles. L'écorce et les graines utiles à la médecine et dans l'industrie.
Angelim, Andira (nord et centre du Brésil).....	11 à 22 ^m	2 m.	Arbre tortueux, propre aux constructions civiles et navales.
Bacupary ou Bacury (Para et Amazones).....	20 m.	2 m.	Arbre tortueux, propre aux constructions civiles et navales. Les fruits de ce bel arbre sont grands et comestibles; on en fait des confitures.
Carnauba.....	»	»	Palmier très-renommé par ses nombreuses propriétés.
Cedro, Au nord de Rio de Janeiro et Amazones...	»	3 m.	Bel arbre dont on tire de larges planches, bon pour des travaux de tour.
Brosimum conduru.....	13 à 15 ^m	1 m.	Constructions civiles, menuiserie et marqueterie.
Gumaru.....	9 à 11 ^m	1 m.	Constructions civiles, menuiserie et marqueterie.
Cupaby ou Copahiba (Amazones).....	18 à 20 ^m	1 ^m ,50	Constructions civiles, travaux internes, souterrains et externes. Huile utile en médecine et dans les arts.
Jacaranda ou palissandre (nord de Rio de Janeiro..)	»	»	Arbre élevé, bois de teinte rouge noirâtre, dur et compacte, bon pour la construction, la menuiserie, la marqueterie et les travaux de tour. On en connaît plusieurs espèces.
Jacariuba, Calophyllum Brasiliense (nord du Brésil).....	»	3 m.	Arbre d'une très-grande hauteur. Constructions civiles et navales. Bois donnant un jaune jaunâtre d'odeur aromatique.
Jaqueira. (nord du Brésil), grande.	»	1 m.	Bois dur, belle teinte jaunâtre, bon pour la charpente des navires. Son fruit atteint 0 ^m ,50 de long et contient des graines farineuses dont la pulpe est très-parfumée.
Jatuby (dans tout le Brésil),	16 à 25 ^m	2 m.	Bois dur et compacte, inattaquable par les vers. Bon pour constructions civiles et navales; il fournit la résine copale.
Massaranduba (nord de Rio de Janeiro).....	22 à 25 ^m	3 m.	Un des arbres les plus précieux. Bois pour constructions civiles. Il fournit un suc lacteux, savoureux et substantiel, que l'on mélange avec du thé ou du café. Au bout de 24 heures il se coagule en une masse élastique, blanche, analogue à la gutta-percha; l'écorce est riche en tannin et est employée en teinturerie.

NOMS DES BOIS et LIEUX DE PROVENANCE	HAUTEUR des ARBRES.	DIAMÈTRE des ARBRES.	USAGE, PROPRIÉTÉS, OBSERVATIONS.
Pao d'arco, <i>Tacoma speciosa</i> (nord du Brésil) ..	20 à 30 ^m	3 m.	Bois très-dur, compacte et élastique. Constructions civiles et navales.
Pao preto.....	»	1 m.	Arbre élevé, bon pour constructions civiles et navales.
Pao roxo (tout le Brésil) ..	»	1 m.	Arbre élevé, bon pour constructions civiles et navales.
Pao santo (nord)	»	»	Bois noir, dense, l'un des meilleurs du Brésil pour les constructions hydrauliques.
Pao setim (nord)	10 à 18 ^m	1 m.	Menuiserie et constructions.
Seringueiro, <i>Syphonia elastica</i> (vallée de l'Amazone)	10 à 18 ^m	2 m.	Le bois a peu d'usage. Il fournit par l'incision du tronc de la gomme-résine, qui, en se coagulant, devient le caoutchouc.
Taury ou Tauary (vallée de l'Amazone).....	8 à 22 ^m	1 m.	Constructions civiles.
Umiry (Amazone).....	»	»	Arbre élevé, dont le bois est bon pour constructions civiles et navales, fournissant le baume du Pérou.
Vinhatico.....	»	2 m.	Arbre élevé, bois employé pour l'ébénisterie au Brésil et constructions.

PRÉFACE DE LA PREMIÈRE ÉDITION

La remarque faite par Fraizier, au sujet de la coupe des pierres, est applicable à la coupe des bois. La *charpenterie* n'est pas seulement ce qui se présente d'abord à l'esprit comme le travail manuel de l'artisan taillant le bois pour assembler des pièces les unes au-dessus des autres, c'est principalement l'art qui impose des règles de construction, qui calcule les combinaisons et la force des corps d'arbres équarris pour composer des édifices en bois, qui dessine préalablement les formes de ces édifices, qui enseigne les procédés d'exécution et le tracé du travail que l'outil doit faire, conduit par les mains d'un compagnon exercé.

La connaissance de cet art ne doit pas rester le partage du seul charpentier. A l'exception de l'habileté des mains pour le maniement des outils, l'architecte et l'ingénieur doivent en posséder jusqu'aux moindres détails. Il ne faut pas qu'ils soient réduits à appeler à leur aide un maître d'œuvres en bois pour achever la conception d'une bâtisse et en assurer la construction, qui n'est possible qu'autant que toutes les difficultés de son exécution sont prévues. Il faut même qu'ils puissent, au besoin, diriger et tracer le travail, s'ils manquent d'un contre-maître pour conduire le chantier.

Le vrai charpentier doit trouver aussi en lui-même tous les moyens de créer un édifice du ressort de son art.

Les anciens ponts les plus hardis, les flèches les plus élégantes des vieilles églises, les anciens combles les plus beaux, sont dus à des charpentiers, hommes de génie dans leur état, et qui en avaient deviné les secrets.

Les architectes qui ont écrit sur l'art de bâtir, tels que *d'Aviler*, *Bullet*, *Briscux*, *Blondel*, etc., ont consacré quelques pages à la charpenterie; mais ils ne se sont occupés que de celles des maisons, qui font le sujet principal de leurs ouvrages. *Gautier*, *Bélidor*, *Perrouet*, *Gauthey*, *Cessart*, ont traité de la charpenterie des ponts et des constructions hydrauliques; ce qu'ils en ont dit se trouve mêlé aux descriptions des grands travaux, objets de leurs écrits. *Rondelet* et *Douliot* ont compris dans leurs *Traité*s sur l'Art de bâtir des applications à divers genres de constructions en bois pour les services civils. *Bouguer*, *Duranti de Livoncourt*, *Duhamel-Duvernois*, *Goimpy*, *Romme*, ont donné des traités sur la charpenterie

navale. *Mathurin Jousse* et *Nicolas Fourneau* ont composé chacun un traité spécial sur la coupe des bois (1). Le premier a fait la description des combles en usage de son temps; *Fourneau*, comme habile maître charpentier, s'est uniquement occupé de ce que les ouvriers appellent *l'art du trait*, consistant dans la description graphique des pièces assemblées et du tracé de leurs assemblages; son ouvrage, purement de pratique, est écrit et distribué de telle sorte que l'étude en est très-difficile et peu profitable à ceux pour lesquels il a été fait (2).

Dans la vue de fournir aux ouvriers charpentiers des ouvrages à bon marché, on a publié des traités fort abrégés, tels que celui de M. Protot, de Reims, et le Manuel de MM. Hanus et Biston, dans l'immense collection du libraire Roret (3); mais ils sont loin de suffire aux besoins des charpentiers, et même aucun des ouvrages plus considérables, que nous avons cités, ne présente la charpenterie ou les parties qui s'y trouvent traitées, sous le point de vue et avec les développements que leur importance et la multiplicité de leurs détails comportent; aucun n'expose les conditions que les combinaisons des bois et leurs assemblages ont à remplir; ils décrivent ce qui est pratiqué sans en faire connaître les motifs, aucun n'enseigne les procédés qui constituent l'art dans l'exécution de ces divers genres de construction.

L'Académie des sciences avait chargé Hassenfratz de composer, conjointement avec Monge, un traité de l'art du charpentier pour faire suite aux arts et métiers qu'elle avait publiés. C'eût été sans doute un traité complet. Le premier volume, qui a reçu l'approbation de l'Institut, est le seul qui ait paru. La mort a privé les charpentiers de la suite de cet ouvrage. Ainsi, malgré le nombre de livres où l'on traite de la charpenterie, elle ne se trouve pas représentée dans le monument élevé à l'industrie par le corps le plus savant.

Faute d'un traité de ce genre, les bons systèmes de construction, les

(1) Kraft cite un traité, du Père François *Derand*, sur la coupe des bois; cet ouvrage n'existe pas. Le P. *Derand* n'a fait qu'un Traité sur la coupe des pierres.

(2) Nous ne rangeons point au nombre des Traités sur l'art de la charpenterie, les deux Recueils publiés par Kraft, vu qu'ils n'ont pas pour objet la description méthodique des procédés de l'art. Ces deux ouvrages, aussi curieux qu'utiles, sont très-bons à consulter. Nous ne citons point non plus les descriptions isolées de diverses constructions en charpente, ni même l'ouvrage de Philibert Delorme, vu qu'il traite d'un système particulier.

(3) Les deux Encyclopédies contiennent aussi des traités fort abrégés de charpenterie.

opérations rigoureuses de *l'art du trait*, les meilleurs procédés d'exécution, ne sont point connus partout.

C'est pour répandre les progrès de l'art et les méthodes que la science graphique a perfectionnées, depuis les traités de *Jousse* et de *Fourneau*, que nous offrons le nôtre aux constructeurs et aux ouvriers. Nous avons cherché à y rassembler tout ce qui peut intéresser ou être utile aux uns et aux autres, et à le mettre à la portée de tous. En réunissant dans notre ouvrage les différentes branches de l'art, nous avons eu pour but de faire connaître des procédés qui leur sont particuliers et qui peuvent être utilement étendus de l'une à l'autre.

Les premiers charpentiers ont dû employer des descriptions graphiques pour figurer les corps et les formes de leurs compositions et pour tracer les détails de leurs assemblages. Ainsi la stéréotomie s'est trouvée inventée en même temps que les premières charpentes. Cette science s'est composée d'une foule de méthodes, presque sans liaisons, inventées pour autant de cas particuliers au moment du besoin, transmises sans démonstrations, toutes pratiques enfin, et d'un usage laborieux et compliqué.

De ces routines, dont les seuls maîtres pouvaient pénétrer les mystères, l'illustre Monge a fait surgir une science nouvelle indépendante de la spécialité d'aucun art. Il a créé la *géométrie descriptive* (1), qui a rendu les opérations graphiques de la stéréotomie aussi exactes que simples et faciles à comprendre. Cette science était enseignée à l'École du génie militaire de Mézières dès 1770 par son célèbre inventeur; elle est devenue une partie essentielle de l'instruction publique, en 1794, par ses belles leçons à l'École polytechnique et à l'École normale.

L'enseignement de la stéréotomie a été la cause occasionnelle de l'invention de la géométrie descriptive, à laquelle la charpenterie et la coupe des pierres doivent maintenant les moyens de solution de leurs plus importants problèmes; cette science a fixé le seul système de dessin qui puisse être employé par le charpentier, parce qu'il est d'accord avec les procédés d'exécution, qu'il est le seul exact et qui mette en évidence les véritables formes des corps et leurs dimensions précises.

Nous nous sommes fait une loi de ne donner dans nos planches aucune figure en perspective : les projections orthogonales que la géométrie

(1) Il est juste de conserver à Frazier, ingénieur du roi en chef à Landau, la part qu'il a dans la science. En 1738, il avait démontré les propositions de la stéréotomie, et employé la méthode des projections horizontales et verticales, dans son *Traité de la coupe des pierres*, qui eut alors un grand succès.

descriptive emploie sont les seules que nous avons employées aussi; elles sont toujours suffisantes pour rendre les descriptions complètes et ne rien laisser à désirer sous le rapport de l'exactitude des formes représentées.

Nous nous sommes affranchi de l'ancien usage de faire précéder le traité d'un art relatif aux constructions, d'un autre traité élémentaire de géométrie, jadis regardé comme strictement nécessaire; nous nous sommes également abstenu d'aucun des préliminaires de la géométrie descriptive, qui auraient pu, il y a quelques années, être utiles à l'intelligence de nos planches et de notre texte; mais dans l'état où le bienfait des enseignements industriels a porté l'instruction des ouvriers de toutes les professions, nous avons pensé qu'il n'y avait pas maintenant un compagnon charpentier qui ne connaît les principes de géométrie descriptive dont nous avons fait usage. Nous conseillons à ceux auxquels ces connaissances élémentaires manqueraient, de les acquérir avant de nous lire; ils seront dédommagés du travail auquel ils se seront livrés, par la facilité avec laquelle ils comprendront notre ouvrage, et par le fruit qu'ils en tireront. Nous nous applaudirions du parti que nous avons pris à cet égard, s'il pouvait les déterminer à suivre les cours élémentaires fondés dans la plupart des villes, et qui sont au rang des plus utiles institutions de notre époque.

À l'égard des opérations graphiques plus compliquées que celles qui dépendent de la théorie des plans et qui se rencontrent dans les épures des combles et dans d'autres constructions à surfaces courbes, dans celles des escaliers et dans la charpenterie des machines, nous les expliquerons au fur et à mesure qu'elles se présenteront en décrivant les formes des pièces de bois qui entrent dans la composition de ces constructions. Néanmoins, nous devons avertir les ouvriers qui se seraient occupés d'avance de l'étude des surfaces courbes, de leurs intersections, de leurs plans tangents, et des développements de celles qui en sont susceptibles, qu'ils auront acquis beaucoup plus de facilité pour l'étude de nos figures. Nous conseillons aussi aux jeunes charpentiers l'étude des éléments de mécanique comme un des objets qui peut leur être de la plus grande utilité.

Dans la plupart des arts, les outils manuels sont les principaux moyens d'exécution; la connaissance de leurs formes et de leur usage est toujours indispensable. Des outils de charpentier sont figurés dans Félibien et dans les deux Encyclopédies; mais ils sont si incomplètement représentés dans des figures en perspective, qu'il serait impossible de les faire

exécuter et de s'en servir, sans plusieurs essais pour parvenir aux proportions qui conviennent au travail que chacun d'eux doit produire. Afin de porter la connaissance de plusieurs outils dans les lieux où l'on ne s'en sert point encore, malgré leur utilité, et faciliter la fabrication de ceux que le commerce ne fournit pas, nous avons consacré plusieurs planches et notre premier chapitre à leur description exacte.

La majeure partie des outils de charpenterie servent à couper le bois (1), et l'on n'en obtient un bon service qu'autant qu'on sait les faire couper. Nous avons donné à ce sujet quelques indications propres à influer sur la propreté et la célérité du travail.

Après les outils, ce qu'il importe le plus de connaître, c'est la matière du travail et les préparations qu'on lui fait subir. La description de l'art que nous nous sommes proposé de traiter, est en conséquence précédée de notions indispensables aux charpentiers; savoir : la connaissance des bois, le choix de ceux propres aux charpentes, leur abatlage, leur débit, leur courbure, leur transport et leur conservation. Nous avons réduit notre texte, sur ces matières, au strict nécessaire, en mettant cependant le lecteur sur la voie pour acquérir une instruction plus étendue, s'il avait à se livrer à quelques grandes entreprises d'exploitation. Nous sommes entré, à l'égard de l'art, dans de plus grands développements, que les personnes déjà instruites en charpenterie trouveront peut-être trop multipliés et trop minutieux; mais il faut se rappeler qu'on décrit un art pour ceux qui apprennent, et qu'ils ne trouvent jamais qu'on leur présente trop de renseignements et trop de points d'appui dans leurs études.

Nous avons figuré sur une suite de planches, et décrit dans la chapitre VIII tous les assemblages qui sont utiles dans l'art de la charpenterie, afin de ne plus nous occuper de ces détails qui reviendraient à tout moment lorsque nous traiterions des combinaisons des pièces de bois pour composer les charpentes. Nous avons donné quelques assemblages nouveaux, comme bons à être employés ou propres à exercer l'adresse des ouvriers, et nous avons signalé les assemblages vicieux pour prévenir

(1) C'est de cette destination spéciale des outils qu'est venu le nom de l'art et de l'artisan qui le pratique. Du nom grec *carpos* (poignet), les Latins ont fait *carpere* (couper), parce que c'est par l'action du poignet qu'on coupe avec un outil tranchant; par suite, ils ont donné, à l'ouvrage et à l'ouvrier qui coupe le bois, les noms de *carpentum* et de *carpentarius*, qu'on a traduits, dans notre langue, par ceux de *charpente* ou *charpenterie* et de *charpentier*. (Voy. le Dict. de Noël.)

contre les fausses idées de perfectionnement qui pourraient porter à les employer. Nous avons consacré un chapitre à la description des procédés particuliers à l'art, pour le tracé et l'exécution des assemblages, matière qui n'avait pas encore été traitée.

Les pans de bois, les planchers et les combles sont décrits dans tous les détails qui nous ont paru de quelque intérêt, soit sous le rapport de l'enseignement, soit sous celui de l'état de l'art.

La charpenterie des combles, ayant pour objet de porter les toits des édifices et de nos habitations, il est nécessaire que le charpentier connaisse la nature des couvertures auxquelles il doit donner de solides soutiens. Dans maintes contrées, d'ailleurs, il est en même temps couvreur. Nous avons, en conséquence, fait précéder la construction des combles d'une description des différents modes de couvertures en usage aujourd'hui, afin que les charpentiers puissent donner à leurs ouvrages les formes qui doivent s'accorder avec l'ordonnance des bâtiments, les règles de leur art, et celles de l'art du couvreur, dont nous n'avons pas prétendu traiter, à beaucoup près, toutes les parties, mais seulement les plus essentielles à leur faire connaître.

Huit des planches de notre tome I sont consacrées aux épures, qui constituent l'étude de *l'art du trait de la coupe du bois*, pour les combles à surfaces planes. Nous sommes entré dans autant de détails que cette partie importante de l'art nous a paru comporter. D'autres épures font partie du tome II.

Des épures de ce genre étaient faites jadis par les élèves de l'École du génie militaire à Mézières; elles leur étaient expliquées par Monge : elles sont passées, avec cet illustre professeur, de Mézières à l'École polytechnique, lors de sa création; les élèves de cette école en font plusieurs comme application de la géométrie descriptive. Pour les construire avec fruit, comme étude de charpenterie, il est indispensable de les faire précéder de la lecture des chapitres que nous avons placés avant celui où elles sont traitées.

Notre tome I est terminé par la description des procédés d'exécution des charpentes des combles, pour l'établissement des bois sur les *ételons* et à la *herse*.

Le second volume de notre *Traité* contient la description de la construction des combles à surfaces courbes et de leurs combinaisons; la description des systèmes de charpente des combles de différentes époques; les dômes, les clochers et les beffrois; l'emploi du fer dans les assemblages

et dans la composition des charpentes en bois; diverses constructions accessoires en charpente; la description et l'usage des nœuds de cordages, des engins et des machines employées dans les travaux en charpente; le levage des charpentes, les étais, les échafaudages, les reprises et réparations sous œuvres; la construction des escaliers; les ponts et les cintres pour la construction des voûtes; la charpenterie des travaux hydrauliques, des digues, des écluses et des fondations; les procédés particuliers de la charpenterie navale; la charpenterie des machines; les expériences et les calculs relatifs à la force des bois; le mesurage et l'estimation des travaux en charpente.

Toutes les figures de nos planches qui ont pu être construites dans des rapports déterminés avec les objets réels qu'elles représentent, sont accompagnées d'échelles, *jauges* indispensables pour juger la grandeur des objets représentés. Nous avons rendu nos échelles d'un usage plus commode que celles dont on accompagne ordinairement les dessins (1).

(1) Autant que l'espace le permet, une échelle doit être assez longue pour qu'on puisse d'une seule ouverture de compas mesurer la plus grande dimension *utile* de la charpente ou de l'objet auquel elle se rapporte. Chacune de nos échelles est composée de deux parties tracées bout à bout. Le corps de l'échelle, qui est distingué par un double trait, est divisé d'un bout à l'autre en parties égales, chacune de la grandeur du premier multiple de la plus petite quantité qu'on est dans le cas d'apprécier; une partie auxiliaire, destinée à apprécier le nombre de ces plus petites parties, est sur le prolongement du trait le plus fin; elle est égale aux divisions du corps de l'échelle, et elle est entièrement sous-divisée, suivant les mêmes parties, les plus petites qu'on ait à apprécier. C'est ainsi que sur la planche 1^{re}, la plus grande dimension de la plupart des outils qui y sont figurés, n'excédant pas 1 mètre de longueur et la plus petite dimension n'étant pas moindre que 5 millimètres, le corps de l'échelle métrique est la représentation des dix décimètres d'un mètre, et la partie auxiliaire est la représentation d'un décimètre divisé en 20 parties, chacune de 5 millimètres, de sorte que si l'on doit apprécier cinq, dix ou quinze millimètres, on prendra une, deux ou trois parties de la division auxiliaire; et, si l'on doit prendre, par exemple, une longueur de 0^m,765, on posera la pointe d'un compas sur le point du corps de l'échelle coté 7, et l'autre pointe sur le treizième point de la division de la partie auxiliaire en comptant des deux côtés à partir du point zéro qui est commun aux deux parties de l'échelle. Si l'on a à apprécier une ouverture de compas, résultant d'une dimension prise sur l'une des figures, on présente le compas ainsi ouvert sur l'échelle, de façon que l'une de ses pointes se trouvant sur l'étendue de la partie auxiliaire, l'autre pointe réponde exactement sur une des divisions du corps de l'échelle. Supposant que cette partie réponde à la division cotée 8 du corps de l'échelle, si l'autre répond à la neuvième division de la partie auxiliaire, toujours en comptant à partir du zéro commun, l'ouverture du compas représentera 0^m,845. La division de l'échelle auxiliaire peut n'être que de 5 ou de 10 parties. Les échelles en anciennes mesures sont construites suivant le même système.

Soit qu'on divise les échelles par tâtonnement, par des diagonales, ou par des triangles

Nous engageons les charpentiers, comme les dessinateurs, à adopter la forme que nous leur avons donnée, parce que la facilité qu'on trouve à prendre une dimension sans hésitation ni reprise ni calcul mental, d'une seule ouverture de compas, sur une échelle exactement construite, contribue à la célérité et à la justesse des opérations sur les épures et les dessins.

Les figures de nos planches qui ne sont point accompagnées d'échelles se rapportent à des objets qui peuvent être de toutes sortes de grandeurs.

Toutes nos figures sont accompagnées de nombres entre parenthèses, qui indiquent les pages du texte auxquelles elles ont rapport. Les parenthèses simples appartiennent à la pagination du tome I; celles accompagnées du signe *prime*, appartiennent à la pagination du tome II.

semblables, moyens qui ne dispensent pas de vérifier la justesse des divisions obtenues, l'opération est longue et difficile, si l'on veut de la précision. Une méthode plus exacte et plus prompte consiste, après avoir tracé la ligne qui doit recevoir le corps de l'échelle et sa partie auxiliaire, dans l'usage d'une règle de métal ou d'ivoire divisée, suivant le cas, en millimètres ou en demi-lignes, à la machine par les ingénieurs en instruments de mathématiques; on l'établit au bout de l'échelle, sur son alignement, et l'on transporte les points de division dont on a besoin, de la règle sur l'échelle, avec un compas qu'on tient ouvert d'une quantité constante pendant tout le temps qu'on lui fait parcourir de point en point les divisions qu'on veut marquer.



TRAITÉ

DE L'ART

DE LA CHARPENTERIE

INTRODUCTION

DE LA PREMIÈRE ÉDITION.

La naissance de l'art du charpentier remonte à celle des sociétés, comme la plupart des autres arts d'utilité première. On ne peut douter que les plus anciens travaux ont eu pour objet de remplacer les ombrages des forêts et les antres des rochers, dès que les races humaines n'ont plus trouvé sous ces toits naturels d'abris assez sûrs ou assez nombreux appropriés à leurs besoins.

La grande abondance des arbres, la forme que la nature leur a donnée, la facilité avec laquelle on put les abattre et les mettre en œuvre, ont dû les faire préférer à la pierre pour bâtir les premières cabanes qui ne devaient remplir que peu de conditions, leurs constructeurs n'ayant alors aucune idée de ce bien-être et des commodités de la vie, que la civilisation et ses arts nous ont fait connaître.

Dans ces temps si reculés, un simple toit assez solide pour

résister à la violence des vents et des animaux, à peu près imperméable à la pluie et aux ardeurs du soleil aussi bien qu'à l'âpreté du froid, suffisait à une famille. Un seul trou dut servir en même temps au passage des habitants, à l'accès du jour, et à l'issue de la fumée. On ne connaît cependant pas exactement quelle fut la forme des premières habitations; mais on peut présumer que celles des peuplades chez lesquelles nos mœurs et notre luxe n'ont pas pénétré, sont les types des essais les plus anciens dans l'art de bâtir. Au milieu des nations civilisées, dans les contrées où l'influence des grandes populations ne s'est pas encore fait sentir complètement, on trouve des cabanes en bois qui ne satisfont qu'aux plus urgents besoins, et dont la grossière structure doit retracer assez fidèlement l'origine de la charpenterie. Dans nos forêts, le bûcheron et le charbonnier construisent des abris de ce genre, où l'on voit qu'ils se sont bornés, comme ont dû faire les premiers habitants de la terre, au strict nécessaire pour l'espace comme pour le travail.

En général, des corps d'arbres implantés dans le sol, forment la charpente de la cabane d'une famille sauvage; si les bois sont flexibles, ils sont courbés en demi-cercle, leurs extrémités sont fixées en terre, ils composent un berceau sphérique ou cylindrique, suivant que l'enceinte est ronde ou quadrangulaire; ce berceau soutient l'enveloppe qui garantit l'intérieur de l'habitation des injures du temps. D'autres fois, les bois sont fichés, par un bout seulement, dans le sol; leurs extrémités supérieures, courbées ou simplement rapprochées, sont réunies pour former le sommet du toit. Pour des habitations d'une plus

grande étendue, des troncs d'arbres tenus verticaux, ou même en surplomb par dehors, sont liés par des traverses; des pièces horizontales supportent les pentes d'un toit qui forme le couronnement et montrent les premières tentatives de l'art.

Dans les pays chauds, les écorces et les grandes feuilles de diverses espèces d'arbres, des tissus de joncs, suffisent pour revêtir et couvrir les cabanes; mais le froid des pays septentrionaux a forcé de recourir à des peaux de bêtes, à des chaumes épais et à des gazons pour envelopper les habitations; dans les climats les plus rigoureux, elles ont été comme enfouies dans le sol; les terres déblayées sont soutenues au-dessus des excavations par des bois horizontaux; elles s'élèvent en monticules pour éloigner les eaux et maintenir la chaleur intérieure. Dans les contrées humides ou sujettes aux inondations, les cabanes sont placées sur des arbres, les branches forment leur principale charpente, ou bien elles sont établies sur des pieux qui en exhausseraient suffisamment le plancher au-dessus des eaux.

Hassenfratz a fait graver dans son ouvrage trente-trois vues d'habitations de différentes nations, extraites de divers voyageurs (1); seize ou dix-huit seulement représentent des cases de peuples sauvages. Krafft a donné sous le titre d'*Ajustements primitifs de charpenterie* (2) plusieurs représentations de constructions rustiques, qui paraissent être des compositions plutôt que

(1) *Traité de charpenterie*, 1804, 1^{re} Partie.

(2) Plans, coupes et élévations de diverses productions de l'art de la charpente (1805).

des représentations fidèles des plus anciennes cabanes. Je n'ai reproduit aucune de ces figures, parce qu'elles sont inutiles à l'exposition de l'état actuel de l'art qui fait l'objet de cet ouvrage, et que la courte description qui précède m'a paru suffisante pour faire sentir l'immense différence de ces premières cabanes avec les édifices élevés aujourd'hui avec tant d'élégance, de solidité et de hardiesse.

Les quinze ou seize figures qui complètent la collection donnée par Hassenfratz, représentent des constructions en usage chez les nations civilisées; telles sont celles des Chinois, des Indiens, des Russes et des Helvétiens; on y reconnaît sans doute de très-grands pas faits dans l'art de bâtir en charpente; rien n'indique cependant les progrès intermédiaires qui ont conduit du mode de bâtisse des premières cabanes à celui des habitations que ces figures représentent; on voit néanmoins, dans ces différentes constructions, l'influence des progrès de la civilisation et des lieux où les hommes ont été forcés de fixer leurs demeures, sur la plus ancienne industrie. Nous aurons occasion de faire connaître ces différents modes de construction, parmi lesquels ceux des Russes et des Suisses sont les plus remarquables, autant à cause de leur grande différence avec la charpenterie des autres nations, que par leurs ressemblances entre eux, quoique les contrées où ils sont en usage soient extrêmement éloignées l'une de l'autre.

Un fait remarquable, c'est que, dans aucune des cabanes bâties par les peuples sauvages et par les nègres de nos colonies qui

ont importé le mode de construction de leur pays, les bois ne sont point assemblés par ce que nous appelons tenons et mortaises; il est même rare qu'il s'y trouve de véritables entailles, et cependant toutes les pièces sont combinées les unes aux autres d'une manière à peu près invariable; des ligatures faites avec des harts, des cordes ou des lanières de bois ou de cuir suffisent pour les fixer, et rarement des chevilles concourent à la solidité des joints. Ces ligatures sont ordinairement enduites de quelque mastic pour les serrer, les durcir et les conserver; elles sont d'une roideur et d'une solidité extraordinaires, et les cabanes ainsi construites ont une stabilité qui étonne, à moins que la prévoyance des constructeurs ait été jusqu'à n'y employer que des bois assez flexibles pour obéir sans se rompre à la violence des vents dans les contrées sujettes aux ouragans.

La solidité des premières cabanes résultait de ce que les corps d'arbres employés à leur construction, étant enfoncés sur une partie de leur longueur dans le sol, comprimé et battu autour d'eux, ils ne pouvaient point vaciller; mais les portions de ces bois qui se trouvaient ainsi enterrées et exposées à l'action de l'humidité de la terre, pourrissaient, et l'édifice devait menacer assez promptement de se renverser; on en était quitte alors pour l'abandonner ou le démolir, et en reconstruire un autre dont la durée était encore subordonnée à la rapidité de ce mode de destruction. On sentit la nécessité d'obtenir la stabilité des habitations, sans exposer leur charpente à une promptte pourriture; il fallut dès lors trouver un autre moyen de maintenir les pièces de bois verticales. Une

petite fondation, formée d'éclats de rochers, préserva de l'humidité, et quelques arcs-boutants donnèrent la solution du problème de la stabilité verticale. Les premières notions d'une géométrie pour ainsi dire instinctive, durent bientôt apprendre que les combinaisons triangulaires donnaient une figure invariable, la seule qui pût rendre les constructions en bois inébranlables. Dès lors, soit que la réunion des pièces dût résulter de ligatures ou de quelques autres modes de jonction, le principe de l'invariabilité de forme des constructions en bois fut reconnu, et il préside encore aujourd'hui à la composition des plus belles charpentes et du toit de la plus simple chaumière.

Mais de grandes difficultés restaient à vaincre; les pièces de bois, réunies par des ligatures, donnaient en se croisant de grandes épaisseurs, elles formaient des inégalités dans les parois des cabanes, et les pièces transversales dépassaient les bois principaux auxquels elles étaient attachées; il fallut donc trouver encore le moyen de débarrasser les bâtisses de ces épaisseurs gênantes, et de donner aux assemblages des formes plus commodes et en même temps plus solides. On conçoit que la marche de la charpenterie, malgré les occasions fréquentes de se perfectionner, a été d'abord assez lente, à cause de l'exiguïté des besoins des premiers hommes, et surtout parce qu'il fallut que ses progrès fussent devancés par ceux de plusieurs autres arts. On peut à peine se figurer quel temps aura été nécessaire pour faire naître l'idée d'équarrir les arbres, de pratiquer des entailles aux points où les pièces devaient

se croiser, et notamment pour assurer l'immobilité des assemblages par des tenons et des mortaises, puisque tous ces perfectionnements dans le travail du bois ont dû être subordonnés à ceux de l'art de traiter les métaux et d'en fabriquer des outils qu'on pût substituer aux haches grossièrement formées d'éclats de pierres, qui furent les premiers ustensiles dont s'arma la main de l'homme.

La scie, cet instrument si utile dans nos arts, est encore ignorée sur divers points du globe; dans le nord de notre continent, les ouvriers en bois n'en sont pas encore généralement pourvus, quoiqu'on y trouve quelques scieries à planches établies sur des cours d'eau, qui auraient dû donner l'idée de la scie légère et maniable, d'un usage si répandu et si varié ailleurs. En Russie, où l'on n'a pas encore besoin de l'économie du bois ni de celle du travail de l'homme, la même cognée qui abat un arbre en tire à force de copeaux une seule planche, et tous les bois sont équarris, dressés, polis, coupés, assemblés par entailles, sans employer d'autres outils que la hache, l'ermurette et la tarière.

Le plus souvent, l'insouciance, la routine, la privation de moyens d'exécution, et la crainte de ne pas retirer un avantage proportionné à la peine, ont retardé l'emploi de plusieurs instruments utiles. Ce n'est qu'à l'urgence du besoin que plusieurs professions ont dû jadis leurs outils et leurs progrès, ce qui est si bien exprimé par cet ancien proverbe : *la nécessité est mère de l'industrie.*

Depuis nombre de siècles, plusieurs nations construisaient en pierre leurs grands édifices et leurs maisons, tandis que les peuples du Nord et du centre de l'Europe couverte de forêts, ne bâtissaient qu'en bois.

Le palais de Julien, qui a conservé le nom de palais des Thermes, était construit en maçonnerie, suivant les procédés de l'architecture romaine, tandis que les habitations de Paris, à cette époque, n'étaient encore que de chétives cabanes de terre et de bois. Cette ville avait acquis beaucoup d'importance sous Clovis, et cependant plusieurs de ses églises étaient en bois. Les murs de la cathédrale de Strasbourg, que ce roi fit bâtir, étaient formés de très-grands troncs d'arbres sciés par le milieu, enfoncés en terre de manière que le côté brut restât en dehors; les intervalles étaient remplis de terre et de mortier, le toit était en chaume; ce système de construction subsista jusqu'au VIII^e siècle (1).

La substitution de la maçonnerie au bois devint une nécessité dans nos climats, lorsque la diminution des forêts, causée par une grande consommation et par l'extension de l'agriculture, rendit la distance des lieux habités aux points d'exploitation beaucoup trop grande, et les trajets trop dispendieux. Les inconvénients inhérents au bois, tels que la pourriture, la multiplication des insectes, et surtout de fréquents et désastreux incendies, ont dû hâter cette substitution; ce n'est cependant

(1) M. Steph. Niquet. Mém. de l'Inst. hist., 2^e liv.

que très-lentement encore, et par parties qu'elle s'est faite. On a d'abord donné aux bâtisses des espèces de socles ou soubassements, en exhaussant hors du sol les fondations en maçonnerie devenues souvent indispensables dans des terrains peu résistants; ces soubassements ont quelquefois été élevés jusqu'au premier étage, et pour mieux séparer les maisons qui se touchaient et adosser les souches des cheminées, on construisit des murs mitoyens montés de fond en comble, quoiqu'on conservât pendant très-longtemps l'usage des pans de bois pour les façades et pour les divisions intérieures de chaque habitation. C'est ainsi que les précautions de solidité et de sûreté, et les besoins causés par l'accroissement des populations, ont conduit aux formes des maisons en bois à plusieurs étages. La profession de charpentier constituait déjà dans le moyen âge un art complet; elle a produit plusieurs combles qui font aujourd'hui l'admiration de nos constructeurs, et des édifices de cette époque, construits entièrement en bois sur toutes leurs façades, ont duré plusieurs siècles. Quoique quelques-unes de ces bâtisses, qui subsistent encore, aient perdu dans quelques parties leur aplomb, ou qu'elles se soient affaissées ou tordues sur quelques points, on ne peut rapporter leurs dégradations à de mauvaises combinaisons des pièces qui entrent dans leur composition, mais à des vices du sol ou des fondations, ou à ce que les assemblages, détériorés par les causes qui altèrent le bois, ont dû céder à la propre pesanteur des charpentes et à de mauvaises répartitions ou des abus de charge dans l'occupation des étages.

Plusieurs belles villes d'Allemagne sont entièrement bâties en bois, tandis qu'on ne voit en Italie et en Espagne, même dans les villages, que des maisons en maçonnerie. De grandes villes de France, notamment Rouen, Caen, et même Paris, nous montrent encore un assez grand nombre d'anciennes constructions en bois, parmi lesquelles plusieurs se font remarquer par l'élégance et le luxe du travail.

Lorsque les maisons en maçonnerie ont remplacé celles en charpente, elles ont conservé les planchers; cependant des voûtes en maçonnerie ont été substituées à ces planchers dans quelques grands édifices, de façon que la charpenterie n'était plus chargée que du soutien de leurs couvertures. Dans le siècle dernier, la mode des combles en maçonnerie légère s'était propagée en France, et bientôt après, le succès de l'emploi du fer pour la construction des ponts a mis son application à la construction de ces mêmes combles et des planchers en une telle vogue, qu'on pût être tenté de croire que le bois qui avait donné aux hommes ses premiers abris était à la veille d'être banni de ses habitations; nous verrons plus loin jusqu'à quel point cette substitution du fer au bois est avantageuse, et combien elle doit peu influencer sur l'importance de l'art du charpentier.

A l'époque déjà bien ancienne où l'on a construit les murailles des églises en maçonnerie, on ne les couvrait que par des combles en bois qu'on s'abstenait de supporter par des soutiens intérieurs qui auraient obstrué les sanctuaires; et lorsqu'on a voûté les plus larges nefs, leurs combles n'em-

pruntèrent point l'appui des arcs en pierre. L'art était donc déjà parvenu à leur donner de très-grandes portées entre les murs; mais alors la construction d'une grande charpente absorbait tout à coup le produit d'une forêt que des siècles avaient vu croître.

L'art naval, qui a fait de si prodigieux progrès depuis qu'un canot creusé dans un tronc d'arbre porta le premier navigateur, accrut considérablement cette grande consommation de bois. Une autre branche de la charpenterie, dont l'origine peut être due au hasard de la chute d'un arbre en travers d'un ruisseau profond, employait aussi dans la construction d'un grand nombre de ponts en bois, une quantité considérable des plus belles pièces, de sorte que tous les travaux semblaient concourir à l'épuisement de nos forêts. L'inconvénient de cette dévastation, si longtemps continuée, fut sentie principalement en France; on se crut menacé de manquer de bois de construction, et l'on imposa des règles aux exploitations pour ménager des ressources à la charpenterie navale, qui ne pouvait remplacer les bois par aucune autre matière. La marine obtint donc, à cause de son importance, le droit de choisir et de requérir tous les arbres à sa convenance. Les autres branches de la charpenterie, notamment celle qui avait pour objet les bâtiments civils, furent alors forcées d'économiser les bois, et de suppléer leurs grandes dimensions par des combinaisons nouvelles; par le secours de divers assemblages et par la réduction des équarissages. On avait jusqu'alors employé dans la composition des charpentes, des pièces ou trop fortes ou trop multipliées,

peut-être dans l'espoir d'assurer aux combles des édifices une très-longue durée. L'économie imposée à l'art lui fit faire de nouveaux progrès et procura d'autres avantages. La réduction des bois dans les grandes charpentes en produisit une dans la dépense de la main-d'œuvre et dans celle des murailles, dont il devint possible de diminuer les épaisseurs, puisqu'elles ne devaient plus avoir de si grands poids à supporter.

La consommation du bois était devenue si alarmante en France, il y a environ trois siècles, que Philibert de Lorme, célèbre architecte, avait signalé dans ses ouvrages, comme extrêmement urgente, la nécessité de la réduire; et ce fut à cette occasion qu'il publia sa belle invention des hémicycles en planches pour bâtir *à petit frais et économie de bois*; il sera question de cette invention lorsqu'il s'agira d'exposer les différents systèmes de construction qui ont été successivement inventés.

La construction des ponts en maçonnerie, qu'on faisait jadis en bois, l'usage du fer pour ce même genre d'édifices (1);

(1) C'est en Angleterre que le premier essai de pont en fer a été fait, il est cependant juste de conserver à la France l'honneur de cette invention; elle est due au sieur Gariu, Lyonnais, qui proposa, en 1619, d'établir un pont de fer sur le Rhône. Le D. Desaguillier, né à la Rochelle, et passé en Angleterre lors de la révocation de l'édit de Nantes, proposa l'exécution de ce pont sur la Tamise. Enfin M. de Montpetit, peintre habile, connu par des procédés relatifs à son art, présenta à Louis XVI le projet d'un pont en fer d'une seule arche pour l'emplacement occupé maintenant par celui de la Concorde; ce projet a été publié en 1783, et son modèle en relief est déposé dans l'un de nos musées. Environ dix ans après, les Anglais se sont emparés de cette idée et l'ont appliquée au pont de Wearmouth.

l'extension de l'emploi de ce métal, de sages règlements, et l'usage plus répandu du charbon de terre pour le chauffage, ont rendu moins alarmante la diminution de nos forêts; mais il ne faut pas moins continuer à faire des vœux pour leur conservation, et des efforts pour l'économie des bois dans les constructions, afin de prévenir le retour du danger dont la France avait été menacée.

Le système de Philibert de Lorme, dont nous venons de parler, n'eut cependant point de partisans, jusqu'à l'heureuse application que Le Grand et Molinos en firent en 1783, à la coupole de la halle au blé de Paris; et c'est seulement lors de l'impulsion donnée au commencement de ce siècle, aux sciences et aux arts, que l'on commença à en rechercher les dessins et à en faire des applications.

Dans le même temps qu'on essayait de multiplier les charpentes à la Philibert de Lorme, on sentit combien il était peu raisonnable de s'interdire l'usage de longs bois, lorsqu'on pouvait s'en procurer aisément, et de s'astreindre à les débiter en petites planches pour la construction des hémicycles. On essaya donc, en laissant aux grands bois leur longueur et leur largeur, de diminuer leur épaisseur pour les employer de champ. Les essais faits en ce genre furent si satisfaisants, qu'on poussa presque à l'excès la réduction de l'épaisseur du bois dans les nouvelles constructions, qu'on désigna sous le nom de *charpentes en bois plats*; quelques-unes même furent exécutées avec les longues planches à bateaux dites bordages, sans qu'on fit la part de la perte de force que devait amener la vétusté. On s'attachait alors

à satisfaire à une grande apparence d'économie et de légèreté, plutôt qu'à la probabilité d'une longue durée.

On continua néanmoins à varier les applications du système de Philibert, à le combiner avec celui des bois plats; quelques constructeurs apportèrent dans les détails d'exécution des changements qu'on peut regarder comme des perfectionnements à cause des circonstances qui les avaient motivés, et le charpentier Lacase a composé un autre système qui présente, comme celui de Philibert de Lorme, un moyen *de bâtir à petits frais et économie de bois*, en n'employant que de petites pièces, sans qu'il soit besoin de les débiter en planches, ce qui peut être utile dans quelques circonstances.

La charpenterie navale avait créé l'art de courber les bois au moyen de la chaleur; cet art a trouvé son application dans la construction des édifices. Mais on peut aussi employer des bois en les courbant par l'effet de leur seule flexibilité, lorsque leurs dimensions n'y mettent point d'obstacle. J'ai construit de grandes charpentes dans lesquelles des bois très-longs et minces sont courbés sur leur plat sans le secours du feu, et forment de grands arcs. C'est un système de charpente essentiellement différent de tous ceux précédemment en usage, et qui présente plus d'économie, plus de légèreté et plus de force que celui de Philibert de Lorme. Ce système de construction, éprouvé par un plein succès sur de grands édifices de l'État, a été appliqué avec avantage à plusieurs constructions particulières à Paris et dans les départements.

Les progrès des arts ont depuis longtemps amené dans

celui de la charpenterie, l'usage des bandes en fer, des étriers, et des boulons, seulement pour consolider la réunion des pièces et quelques assemblages. Mais le fer est aujourd'hui appelé à jouer un rôle plus important dans les charpentes en bois; on l'emploie pour remplacer avec avantage diverses pièces. Cette combinaison du fer et du bois, qui tient le milieu entre les systèmes de charpente uniquement en bois, et ceux des combles entièrement en fer, est susceptible de donner un grand essor à l'art du charpentier en bois, en lui fournissant les moyens d'exécuter des constructions plus légères et en même temps moins dispendieuses, résultat fort remarquable du secours que les arts peuvent se prêter.

A l'égard des charpentes entièrement en fer, elles ne s'appliquent encore qu'à des édifices publics ou à des bâtiments d'une haute importance (1), notamment lorsque des chances d'incendie sont à redouter, et l'emploi de ce genre de construction est toujours subordonné au rapport qui doit exister entre la dépense et le but qu'on se propose. M. le chef de bataillon du génie Belmas, dans un excellent Mémoire sur les combles des casernes (2) a fait remarquer avec raison qu'en comparant les prix des combles construites en bois avec ceux des combles construits en fer, on voit que les premiers sont quatre, cinq et six fois moins coûteux pour une même étendue d'espace

(1) Emy écrivait cette introduction en 1837; depuis, l'emploi du métal dans les constructions a pris une grande extension et est même exclusif à Paris.

(2) Numéro 11 du Mémorial de l'Officier du génie.

couvert, et que, comme la supériorité des combles en fer sur ceux en bois, relativement à la durée, ne se fait sentir qu'après un laps de temps si considérable, qu'elle devient inappréciable. Il en résulte que les charpentes en fer n'ont, sur celles en bois, d'autre avantage que d'être incombustibles; et que, faisant abstraction de cette considération qui est cependant d'une haute importance dans plusieurs cas, ce n'est que dans les contrées où le bois est excessivement cher que l'emploi du fer pour les combles et les planchers, peut être plus économique que celui du bois. On doit remarquer encore, avec M. Belmas, que l'espèce de couverture dont la dépense de premier établissement se trouve être la plus considérable, est encore, au bout d'une longue période d'années, la plus chère par suite de l'accroissement rapide des intérêts que le capital aurait produit, en supposant même que les frais d'entretien qu'elle exige soient à peu près nuls. Il y a par conséquent lieu de présumer que, dans un grand nombre de cas, les charpentes en bois seront préférées à celles en fer, même pour beaucoup de grandes constructions.

La décoration des maisons en bois du moyen âge appartenant à des personnes riches, consistait en compartiments plus ou moins compliqués, formés par les bois des façades, sans déroger aux principes de stabilité résultant des combinaisons triangulaires; tous ces bois étaient dressés pour la justesse des assemblages et la régularité de leurs faces apparentes chargées de moulures et de sculptures représentant des ornements et des figures. Quelquefois les bois étaient peints de brillantes

couleurs, ainsi que les enduits qui couvraient les hourdis de remplissage; quelquefois aussi des panneaux sculptés remplissaient les compartiments et cachaient les hourdis. Dans l'intérieur, les pièces des planchers formant plafond en dessous, et même celles des combles habitables qu'on laissait apparentes, étaient également travaillées; le charpentier appelait alors à son aide le sculpteur, le peintre, et même le doreur pour orner ses ouvrages.

Pour les façades des habitations les plus communes, chaque pièce grossièrement équarrie se trouvait couverte par des bardes ou des ardoises; souvent même toute la façade, ou au moins les étages supérieurs, étaient garnis de voliges revêtues d'ardoises comme les pans des combles; quelques compartiments, résultant de la distribution de ces ardoises, formaient l'unique décoration de ces tristes façades, dans lesquelles des fenêtres, souvent très-étroites, réservées entre les poteaux de la charpente, semblaient ne laisser pénétrer le jour qu'à regret.

Les maisons en maçonnerie s'étant multipliées pour les personnes qui voulurent des hôtels plus solides, mieux clos, et qui se distinguassent des habitations du peuple, on chercha à donner aux maisons en bois l'apparence des constructions en pierre, comme on le fait fréquemment encore maintenant. On étendit les crépis des hourdis de remplissage sur les bois dont on laissa toutes les faces raboteuses : d'une part, pour que le mortier et le plâtre pussent s'y attacher plus fortement, et, en second lieu, parce qu'il devenait superflu de façonner des

bois qui devaient être cachés; ce qui dispensa d'employer les charpentiers les plus habiles, et conduisit à ne plus mettre en œuvre que des pièces grossièrement équarries, jusque dans les combles qui n'étaient point revêtus par des lambris; cet usage prévalait encore dans les derniers temps, où l'on affectait de regarder comme une perfection de l'art et une habileté chez le maître charpentier, de savoir *observer la poulaine* pour tracer et ajuster les assemblages, malgré les défauts des pièces et les imperfections de l'équarrissement. Il y a sans doute quelque talent à remédier aux défauts qui se présentent accidentellement quand on trace des assemblages; mais il faut convenir qu'il vaut beaucoup mieux prévenir ces défauts en les corrigeant dans leur principe, surtout lorsqu'un léger travail peut en même temps procurer d'autres avantages; aussi les sages réflexions des gens pénétrés des vrais principes des arts, ont fait reconnaître que l'équarrissement propre et exact des bois de charpente est indispensable toutes les fois qu'il s'agit d'une construction qui doit réunir tous les genres de perfection dont elle peut être susceptible, parmi lesquels la justesse des assemblages doit être au premier rang.

Ce qui a le plus contribué à faire revivre cette pratique utile, c'est que la plupart des grandes constructions modernes exécutées en bois ne sont plus reléguées dans d'obscurs greniers à peine fréquentés; elles sont exposées à la vue, elles forment, par la hardiesse de leurs portées et la combinaison des pièces qui les composent, une sorte de décoration intérieure des bâtiments qu'elles couvrent. C'est, au surplus, revenir à une

pratique très-antique; car on voit, par les édifices les plus anciens, que les charpentiers qui les ont construits avaient apporté beaucoup de soin et d'exactitude à équarrir, unir, et, pour ainsi dire, polir leurs bois; c'est sans doute à ce soin bien entendu autant qu'à la perfection des assemblages et au bon choix des bois, qu'est due la belle conservation de leurs travaux. L'abandon de cette perfection était certainement une décadence de l'art et l'effet d'une négligence que certains ouvriers crurent déguiser en faisant regarder l'équarrissement exact comme un luxe superflu et même dispendieux, quoiqu'il eût des avantages incontestables, bien capables de dédommager du petit surcroît de peine qu'il occasionnait.

Plus une charpente a de portée, plus elle a de pesanteur, plus ses joints sont multipliés, plus la longueur de chaque pièce est grande et plus le levier avec lequel elle agit sur ses assemblages a de force. Le plus petit vice toléré dans les joints, ou même quelques inexactitudes inappréciables dans les longueurs de quelques pièces, peuvent en se multipliant et en se combinant avec la flexibilité des bois, laisser dans une charpente un jeu d'autant plus nuisible que cette charpente aurait une plus grande étendue.

L'action des vents, la pesanteur accidentelle des neiges, les percussions qui résultent du travail des ouvriers ou des machines qui fonctionnent dans un édifice, les secousses occasionnées par l'habitation même d'un petit nombre de personnes, le mouvement d'une grande population qui agit à l'extérieur sur le sol, sont autant de causes, si petites qu'elles

paraissent, qui produisent isolément ou réunies un ébranlement dans le système, et qui font à la longue prendre du jeu aux assemblages, parce que des chocs même très-minimes, continuellement réitérés, altèrent de plus en plus les surfaces en contact; sans compter que les variations continuelles des dimensions produites par l'alternative de l'humidité et de la sécheresse, et par les changements de température occasionnent aussi des oscillations qui concourent, quoique lentes, au dépérissement des assemblages. Il est donc du plus grand intérêt que ces assemblages soient tracés et coupés avec la plus rigoureuse justesse et qu'ils soient tenus très-serrés, afin de ne renfermer aucun vide ni aucun autre principe d'altération. Or cette perfection ne peut être obtenue si on laisse dans l'équarrissement des défauts qu'on ne peut apprécier exactement et dont la correction est abandonnée à l'adresse de la main. Les compensations inexactes qui peuvent être faites ne manquent pas d'altérer la justesse des joints, en changeant ou l'étendue, ou la situation des plans suivant lesquels les pièces doivent se rencontrer. On conçoit enfin que des bois difformes et des assemblages déviés de leurs positions régulières, ne peuvent ni recevoir ni transmettre convenablement les efforts qui se combinent dans les charpentes, et que le véritable remède à de si graves inconvénients est dans l'équarrissement parfait, avant d'assembler et de mettre les bois en œuvre. La bonne façon des bois, c'est-à-dire la netteté avec laquelle leurs faces sont dressées et planées, contribue considérablement aussi à la conservation des charpentes, en laissant moins de prise que les inégalités, à l'action des variations hygro-

métriques de l'atmosphère, au logement des insectes et à l'attaque de la pourriture. Il est encore utile d'abattre les vives arêtes par de petits pans réguliers, ou par des arrondissements cylindriques faits avec soin partout où les pièces de bois ne forment point d'assemblages, afin de soustraire ces arêtes aux mêmes causes de détérioration qui agissent sur elles avec plus de rapidité que sur les faces, aussi bien que pour prévenir leurs dégradations par l'effet des chocs qu'elles pourraient éprouver. C'est ce que l'on pratique avec succès dans les charpentes des machines, et qui ne peut être qu'avantageusement appliqué à celles des constructions de toutes les espèces.

Le perfectionnement des surfaces des bois donne enfin plus de facilité pour leur appliquer une peinture à l'huile, qui est un grand moyen de conservation pour des constructions dispendieuses et dont on veut assurer la longue durée.

Si l'on considère combien les progrès de l'art de façonner le bois ont été utiles au bien-être des hommes, on demeure convaincu que l'art du charpentier a été un des premiers à se perfectionner, et qu'il a dû stimuler les progrès de plusieurs autres professions pour en obtenir les outils et les machines dont ses inventions lui ont fait sentir le besoin. Son orgueil n'est pas déplacé, lorsqu'il se prétend le père de l'architecture parvenue aujourd'hui au noble rang des beaux-arts, car c'est à l'heureuse imitation des premières constructions en bois qu'est dû le charme des formes que l'on retrouve dans les plus beaux édifices en pierre. A la vérité, l'architecture à son tour, en

empruntant aux sciences leur secours, a découvert au charpentier les immenses ressources de son art pour produire les combinaisons les plus élégantes et les plus hardies; mais dans les constructions où la charpenterie ne façonne pas la matière principale de la bâtisse ou de quelques-unes de ses parties, où elle n'assure pas les fondations en consolidant le sol, où elle ne divise pas la hauteur de l'édifice en étages pour multiplier l'espace, où elle ne le couvre pas d'un toit protecteur, c'est elle qui pourvoit à tous les moyens de distribution et d'élévation des matériaux, et au soutien des ouvriers de toute espèce; ou bien elle prête le secours de ses cintres pour maçonner les voûtes. Dans tous les transports et l'érection des grands-monuments, c'est elle encore qui donne à la mécanique ses principaux moyens matériels pour appliquer la puissance au mouvement des masses les plus gigantesques. Ce sont enfin ses étais que d'antiques édifices appellent pour prolonger leur durée.

La charpenterie ne joue pas un rôle moins important dans l'architecture navale, puisqu'elle constitue sa principale partie. Et c'est à elle, enfin, que l'art des grandes constructions en fer doit son origine et ses modèles, ses moyens de levage et jusqu'à ses procédés d'épure, d'étude ou d'exécution. La connaissance de l'art du charpentier n'est donc pas moins nécessaire aujourd'hui au constructeur en fer qu'au constructeur en bois.

Nous voyons les charpentiers se faire remarquer dans toutes les grandes constructions de quelque nature qu'elles soient; l'habitude de se représenter par la pensée les objets dans l'espace avant qu'ils y soient édifiés, l'usage continuel d'une foule d'outils,

de cordages et de machines aussi puissantes que simples, l'espèce de gymnastique dans laquelle la pratique de l'art les entretient constamment, en font, comme des marins, les hommes les plus propres aux travaux dans lesquels le jugement sûr et rapide, et la promptitude de l'exécution doivent se joindre à la force et à l'adresse.

La profession de charpentier est enfin une des plus belles de l'art de bâtir; les connaissances qu'elle exige pour la pratiquer en maître, l'intelligence qu'elle nécessite dans le simple compagnon, ne le cèdent à aucun autre, et la placent aux premiers rangs d'utilité dans l'exécution des édifices, aussi bien que dans leur composition.



CHAPITRE I.

OUTILS SERVANT AU TRAVAIL DU BOIS.

Les outils strictement nécessaires aux charpentiers sont en très-petit nombre. Une jauge, un plomb, un cordeau, un compas, une hache, une besaiguë, une scie et une tarière peuvent suffire pour l'exécution de tous les ouvrages, même les plus compliqués. Cependant l'économie du bois, la commodité du travail, sa célérité et sa justesse, ont multiplié les outils en les variant de formes et de dimensions suivant les divers besoins des constructions.

Dans la description que nous allons donner des principaux outils et des plus usités dans l'art de la charpenterie, nous les classerons, autant que possible, selon leurs espèces et leurs usages, dans l'ordre suivant :

1° Outils et instruments servant à piquer les bois et à tracer ;

2° Outils et instruments servant à déterminer les positions des lignes et des plans ;

3° Outils tranchants par percussion ;

4° Outils tranchants, à corroyer et planer le bois ;

5° Outils à percer ;

6° Outils à scier ;

7° Outils à frapper.

Quoique ces outils ne soient point rangés dans nos dessins, exactement suivant cet ordre, ils sont cependant distribués de façon que tous ceux de même espèce se trouvent sur la même planche.

Nous nous sommes contenté d'une seule projection toutes les fois qu'elle nous a paru suffisante pour une description complète ; mais lorsque la complication des formes l'a nécessité, nous avons donné deux et même trois projections d'un même outil. Et dans ce cas, ces projections, qui sont toujours faites sur des plans perpendiculaires les uns aux autres, sont rapprochées le plus possible ; elles sont réunies par des lignes ponctuées, et comprises sous un même numéro de figure.

1° Outils servant à piquer et à tracer.

Pl. 1, fig. 1. *Jauge*. Règle en bois dur, ordinairement de noyer, de 27 à 34 millimètres de largeur sur 3 millimètres d'épaisseur, longue

d'un tiers de mètre. Cette jauge sert aux opérations de détail pour le tracé des pièces de bois et de leurs assemblages. Les ouvriers charpentiers la placent pendant le travail le long de la cuisse droite, dans la poche du pantalon, de façon qu'elle en sorte au moins du tiers de sa longueur, pour l'avoir à chaque instant à la portée de la main.

Fig. 2. *Traceret*. Outil qui sert à tracer sur le bois les détails des assemblages. Une de ses extrémités est aciérée et affilée en pointe, l'autre est terminée en anneau pour qu'on puisse le suspendre à un elou.

Fig. 3. *Cordeau ou ligne*. C'est une ficelle qui sert à battre ou à marquer les lignes d'une grande étendue sur les épures en grand ou *éteçons*, et sur les pièces de bois. Le cordeau *a* est ordinairement en laine, pour les lignes qui servent à l'équarrissement grossier qui se fait à la forêt, et en coton d'environ 2 millimètres de diamètre pour le sciage de long et l'exécution des travaux. Il est habituellement roulé sur une bobine *b*, qui tourne sur un axe dans lequel elle est enfilée. Cet axe est terminé par un bouton *c*, qui empêche la bobine de sortir; il est fixé dans un manche *d*. La bobine, son axe et son manche sont ordinairement en bois dur, et souvent en os.

Fig. 4. *Plomb de charpentier*. C'est un disque épais et tant soit peu conique, ouvert dans son milieu, où se trouve une croix à trois branches, en cuivre ou en fer. Le centre de cette croix, répondant à celui du disque, est percé d'un petit trou pour passer une ligne en ficelle et mieux en fouet, terminée par un nœud qui la retient. Le disque est ordinairement en plomb; on le préfère de ce métal plutôt qu'en bronze, parce qu'il est moins cher et qu'on l'obtient aisément, bien formé, et en tel nombre qu'on veut, en le coulant dans un moule de bronze. La croix à trois branches, qui peut être découpée dans du cuivre, ou faite de trois bouts de fil de fer tordus deux à deux, se place d'avance dans le moule, et ses trois extrémités sont prisonnières dans le métal coulé.

Fig. 5. Autre *plomb* de la même espèce dont le tour est cannelé, pour que le frottement dans l'air ralentisse plus promptement son mouvement de rotation.

On préfère la forme de ces *plombs* pour l'usage de la charpenterie à toute autre parce que le point de suspension se trouvant plus près du sol sur lequel les lignes des épures sont tracées, l'on juge mieux de sa coïncidence avec ces lignes, qu'on aperçoit au travers du jour ménagé autour

du centre, et parce qu'en laissant poser le plomb un instant très-court sur le sol, il est immédiatement tranquilisé, avantage que ne présente aucune autre forme. Les charpentiers portent ce plomb dans la poche de la veste de travail.

Fig. 6. *Compas de charpentier*. Il est en fer, ses pointes sont en acier et trempées. Lorsqu'elles s'émousent, on les affine sur le grès. C'est ce compas qui sert à piquer les bois, et aux divers tracés qu'on exécute sur les pièces pour les détails des assemblages; chaque compagnon doit en être pourvu; il se place dans la poche de droite du pantalon, le long de la cuisse à côté de la jauge, les pointes en bas, l'une des branches en dehors de la poche.

Fig. 7. *Compas à épures, ou d'appareil*. L'une de ses branches *a* est composée de deux lames, depuis la tête *c* jusqu'à la base *b* de sa pointe. La seconde branche *e* ne consiste qu'en une seule lame, depuis la tête *c* jusqu'à la base *d* de l'autre pointe; elle se loge entre les deux lames jumelles de la première branche lorsque le compas est fermé. Les pointes sont pleines depuis leurs bases *b* et *d*; elles sont de la même forme, aciérées par leurs bouts, et elles s'appliquent à plat l'une contre l'autre. La tête du compas est formée de deux rosettes en cuivre qui réunissent les lames des branches au moyen d'un clou cylindrique rivé des deux côtés et qui sert d'axe.

On fait usage de ce compas lorsque l'on a de grandes dimensions à prendre et à transporter sur les épures ou sur les pièces de bois. La disposition de ses branches fait qu'on peut s'en servir aussi comme de la fausse équerre, fig. 4, pl. II, que nous décrirons plus loin.

Quelquefois ce compas est insuffisant pour les dimensions très-étendues qui exigent de la précision dans leur transport, ou pour tracer de très-grands arcs de cercle. Dans quelques provinces, les charpentiers se servent alors de *tilles*; ce sont de très-longues lanières d'écorce d'arbre, notamment du tilleul, qui jouissent de la propriété de ne point s'allonger lorsqu'on les tend; mais, comme il n'est pas toujours facile de s'en procurer, on leur a substitué l'instrument suivant.

Pl. II, fig. 28. *Mesure en ruban*. Cette mesure est formée d'un long ruban *a* de tissu de fil, dont un bout seulement paraît dans la figure. Ce ruban est enduit d'une substance qui le préserve de l'humidité et qui lui donne la propriété de ne pouvoir s'allonger que par une tension beaucoup plus forte que celle nécessaire pour son usage. Ce ruban est divisé de mètre en mètre, et chaque mètre est divisé en centimètres; toutes les divisions sont cotées à partir du bout *a* garni d'un anneau *b*. Tout le ruban,

qui peut avoir dix, ou quinze, ou vingt mètres de longueur, s'enroule sur un petit cylindre renfermé dans une boîte ronde en cuir *c*, qui n'a sur le côté qu'une étroite ouverture pour son passage. En tirant le ruban par son anneau, on le fait sortir de la longueur dont on a besoin; pour le faire rentrer dans la boîte et le rouler sur le cylindre intérieur, il suffit de mouvoir la manivelle *d*. Afin que le ruban s'use moins rapidement, l'ouverture de la boîte est garnie intérieurement de deux petits rouleaux en cuivre qui lui sont parallèles et qui ne laissent entre eux que l'espace nécessaire pour le passage du tissu.

Quelque commode que soit cet instrument, on lui préfère quelquefois l'usage de longues règles exactement étalonnées et que l'on pose bout à bout, ou en faisant coïncider des repères marqués sur leurs faces. Pour les opérations qui requièrent plus de justesse, et pour tracer des arcs de cercle, on se sert d'un grand compas à verge.

Pl. III, fig. 19. *Compas à verge en bois.* *a*, Longue règle en bois léger et raide; le sapin exempt de nœud est le plus convenable. Cette règle peut avoir quatre, cinq et même six mètres de longueur. *b b*, Poupées en bois de chêne ou de noyer, qui sont percées chacune d'une mortaise dans laquelle passe la règle ou verge *a*. Les cales *c c*, sont passées en même temps que la règle dans les mortaises des poupées, et les remplissent exactement, en laissant un jeu suffisant pour que ces poupées puissent glisser le long de la règle. *d d*, Coins en bois qui traversent les poupées *b*, perpendiculairement à la règle *a*, en passant dans les entailles des cales *c*, pour les retenir à leurs places. Ces coins, frappés au maillet, servent à fixer les poupées sur la règle aux places qui conviennent. *e e*, Pointes en acier vissées dans la partie inférieure de chaque poupée.

Pour faire usage de ce compas, on fixe l'une des poupées, celle à gauche, par exemple, et l'on place sa pointe sur le point qui marque une extrémité de la dimension qu'on veut prendre; on desserre le coin de la seconde poupée, puis on fait glisser cette poupée jusqu'à ce que sa pointe réponde au point qui marque l'autre extrémité de la dimension dont il s'agit. On serre alors le coin, et l'on peut transporter cette dimension où l'on en a besoin.

On parvient à ajuster très-exactement le compas, soit en agissant légèrement avec la main sur une des poupées, soit en la frappant à petits coups d'un côté ou de l'autre avec un petit maillet pour amener sa pointe en coïncidence avec le point extrême de la dimension qu'on veut prendre, et l'on serre peu à peu le coin à mesure qu'on approche de la précision qu'on se propose.

Lorsque la verge du compas est très-longue, pour empêcher qu'elle fléchisse on peut la soutenir vers le milieu par une roulette qu'une troisième poupée porte en dessous.

Fig. 20. *Compas à verge métallique.* Lorsque le compas à verge de la figure précédente n'est pas assez grand pour prendre une longueur donnée en son entier, on la prend en plusieurs parties; mais il peut arriver que l'on ne puisse ainsi diviser l'opération, comme lorsqu'on a besoin de tracer avec exactitude des arcs de cercle d'un très-grand rayon, cas pour lequel j'ai fait construire le compas représenté fig. 20.

a, Tube de fer-blanc composé d'une suite de feuilles mandrinées sur le même cylindre; chaque joint, suivant la longueur, est soudé bord à bord sur une bandelette intérieure également en fer-blanc. Les tubes partiels sont soudés bout à bout au moyen de viroles intérieures en fer-blanc *b*. Chaque virole porte intérieurement une sorte de diaphragme *c*, découpé avec beaucoup de précision et soudé perpendiculairement pour conserver la forme cylindrique du tube et s'opposer à sa flexion. Tous les diaphragmes sont percés chacun d'un petit trou au centre, pour la circulation de l'air, lorsque la température varie.

dd, Poupées percées, chacune d'un trou cylindrique du diamètre du tube servant de verge, et traversées librement par lui. *ee*, Coussinets cintrés et entaillés, logés dans les poupées avant qu'on y enfle le tube; ces coussinets servent à transmettre sur le tube la pression des vis.

f, Vis de pression pour fixer les poupées. Une lame d'acier est interposée entre les bouts des vis et les coussinets en bois *e*, afin qu'ils ne soient point déchirés; deux vis de pression à chaque poupée sont préférables à une seule, pour agir plus également sur la longueur du coussinet *e*, sans risquer d'écraser le tube. *gg*, Pointes fixées à vis aux poupées; on a soin de les maintenir dans le même plan lorsqu'on prend une dimension.

Un tube de fer-blanc de 55 millimètres de diamètre peut avoir jusqu'à quinze mètres de longueur, sans que la courbure résultant de son poids soit sensible, lorsqu'on le tient par ses extrémités. On fait usage de ce compas comme du précédent.

Fig. 21. *Compas fixe.* Ce compas est en fer, ses pointes, qui sont fixes, à une distance exacte de $\frac{2}{3}$ de mètre, sont en acier. Le dos de ce compas porte des divisions du mètre; il sert uniquement à mesurer la longueur des bois en grume et des bois de charpente équarris. Pour se servir de ce compas, on le tient par le milieu de sa longueur d'une seule main; on se place à l'un des bouts de la pièce à mesurer, l'ayant à

sa droite, si c'est, suivant l'usage le plus commun, de la main droite qu'on agit; on pose l'une des pointes au point d'où l'on veut commencer à compter, l'autre pointe s'appuie sur la pièce dans la direction de sa longueur; alors on soulève la première pointe, et en faisant tourner la main en dedans on transporte cette pointe sur le bois, toujours dans la direction de sa longueur, et l'ayant appuyée, on soulève à son tour l'autre pointe qu'on porte en avant en ramenant la main à sa première position; l'on parcourt ainsi la longueur de la pièce en comptant autant de fois $\frac{2}{3}$ de mètre que la portée du compas a pu y être placée. La fraction qui se trouve au bout de la pièce est appréciée au moyen des divisions tracées près du dos du compas. Avec un peu d'habitude, cette opération se fait avec une grande promptitude et une exactitude suffisante pour l'évaluation du volume des bois bruts.

Si l'on veut que ce compas donne des mesures plus directes, la distance entre ses pointes peut être fixée à un mètre, mais son usage est alors moins commode.

Pl. III, fig. 18. *Trusquin*. Outil qui sert à tracer sur le bois des lignes parallèles à des arêtes droites; il est représenté par deux projections.

a, *Tige ou verge*. C'est un prisme à base carrée; *b*, *platine*, ses faces sont parallèles et rectangulaires; elle est percée d'une mortaise carrée pour recevoir la tige qui la traverse à angle droit, et qui doit glisser à frottement doux.

c, *Coin* qui traverse la platine dans sa largeur et parallèlement à deux de ses côtés, sa mortaise croise celle de la tige à angle droit, et la pénètre un peu, afin qu'en serrant le coin, il opère sur la tige une pression qui la fixe invariablement; *d*, *pointe de fer affilée* qui sert de traceret.

Pour se servir du trusquin, on tient la platine à peu près à plat dans la paume de la main droite, la queue de la tige passant entre l'index et le médium, le pouce étendu sur l'épaisseur de la platine, les autres doigts appuyés sur ses bords, sans les dépasser, pour qu'ils ne rencontrent pas la pièce de bois sur laquelle on veut tracer.

On place la pointe *d* à la distance où l'on veut qu'elle soit de la platine selon l'écartement de la ligne à tracer, en frappant à petits coups de l'un ou de l'autre bout de la tige sur un corps immobile. Le coin doit être assez serré pour que la tige soit maintenue à sa place, sans cependant l'empêcher de glisser lorsqu'on la frappe pour l'ajuster. Quand on veut que la

tige reste fixée invariablement, on serre le coin par un coup de marteau appliqué sur sa tête; on le desserre par un coup appliqué en sens contraire au bout de sa queue.

Pour tracer une ligne, on applique la platine contre l'arête à laquelle cette ligne doit être parallèle; le bout de la tige portant le traceret étendu sur la face où la ligne doit être tracée, on fait alors glisser la platine le long de l'arête en faisant mordre le traceret, la platine restant constamment appliquée au bois, afin que la ligne tracée soit droite et parallèle à l'arête. Si la pièce sur laquelle on trace est légère, on la tient de la main gauche en la présentant convenablement au trusquin.

Cet outil sert dans les petits ouvrages à régler l'épaisseur des planches dont une face est planée, à tracer les tenons et les joues des mortaises.

2° *Outils et instruments servant à déterminer les positions des lignes et des plans.*

Pl. II, fig. 2. *Équerre à épaulement.* Le nom d'*équerre* est appliqué à tous les instruments propres à donner l'angle d'une figure *équerrie*. Celle représentée, fig. 2, par deux projections est particulièrement désignée par le nom d'*équerre à épaulement*, parce que son corps *a b* est plus épais que sa branche ou lame *a c*; elle sert à tracer sur les faces des pièces de bois des lignes perpendiculaires à leurs arêtes. Pour cela, on pose la branche *a c* contre la face sur laquelle on veut tracer, et l'on applique le côté inférieur du corps *a b* contre l'arête à laquelle la ligne à tracer doit être perpendiculaire. Le tenon *d*, dont les deux joues sont dans les mêmes plans que les faces de la branche *a c*, sert à supporter le corps de l'équerre lorsqu'il est appliqué contre la pièce de bois et dispense de le soutenir avec la main. Une languette le long du corps de l'équerre remplirait le même but, mais elle aurait l'inconvénient de cacher quelquefois des fragments de bois qui fausseraient la position de la ligne qu'on veut tracer.

On vérifie l'exactitude de cette équerre sur une face de pièce de bois bien déganchie, dont une arête est également bien dressée. On place l'équerre de façon que son épaulement, ou corps *a b*, soit appuyé contre l'arête, et l'on trace une ligne le long de la branche *a c*. On retourne l'équerre sens dessus dessous pour vérifier la coïncidence de la même branche *a c* avec la ligne tracée; on corrige l'instrument, jusqu'à ce que la coïncidence soit parfaite, en ôtant du bois en dehors de la branche *a c* où

l'on reconnaît qu'il y en a trop. C'est pour faciliter cette correction que le dos de la branche $a c a$ de la saillie sur le bout du corps $a b$, et laisse du bois à la disposition du rabot.

Fig. 3. *Équerre* pour tracer des angles droits sur le papier. On s'en sert aussi quelquefois pour tracer des détails d'assemblages compliqués; l'épaisseur de cette équerre, qui n'est représentée que par une seule projection, varie de 2 à 12 millimètres; on la préfère mince pour tracer sur le papier. Lorsqu'elle doit servir au tracé sur les bois, on lui donne au moins 8 millim. d'épaisseur, afin qu'elle soit plus solide. Le fil du bois doit être parallèle à l'hypoténuse $m n$. Celle représentée, fig. 3, est isocèle, pour qu'elle donne en même temps l'angle droit en o , et des angles de quarante-cinq degrés en m et en n . On fait aussi des équerres scalènes; dans ce cas, le plus grand des deux côtés adjacents à l'angle droit suit le fil du bois.

On vérifie cette équerre au moyen d'une règle bien dressée, posée sur une surface plane; on applique l'un des côtés $o m$ de l'angle qui doit être droit contre la règle, on trace une ligne le long de l'autre côté $o n$ du même angle. La règle restant fixe, on fait tourner l'équerre à plat pour appliquer à son tour le côté $o n$ contre la règle, puis on fait glisser l'équerre jusqu'à ce que le côté $o m$ coïncide avec la ligne tracée. Si la coïncidence est parfaite d'un bout à l'autre, du côté $o m$, l'équerre est exacte dans son angle droit; autrement le défaut de coïncidence marque le double de l'épaisseur du bois qu'il faut enlever. On fait autant de corrections et de vérifications qu'il en faut pour arriver à une coïncidence parfaite.

On vérifie par un moyen semblable la justesse des angles de 45 degrés, m et n . L'équerre étant appliquée par l'un des côtés de l'angle droit contre la règle fixe, on trace une ligne le long de l'hypoténuse, puis on retourne l'équerre sens dessus dessous, et l'on vérifie si l'hypoténuse coïncide encore avec la ligne tracée. Si la coïncidence n'est pas parfaite, on enlève du bois sur l'hypoténuse, dans le sens indiqué par le défaut de coïncidence.

On peut encore vérifier la justesse d'une équerre au moyen de deux lignes perpendiculaires l'une à l'autre, construites avec le compas, et l'on procède comme il suit : on fait coïncider l'hypoténuse avec l'une des deux lignes, on applique une règle contre l'un des côtés de l'équerre, puis l'on fait tourner l'équerre d'un quart de tour, de façon que son second côté vienne à son tour s'appliquer contre la règle; dans cette nouvelle position, si l'équerre est juste, on peut, en la faisant glisser contre la règle,

faire coïncider son hypoténuse avec l'autre ligne. Ce même procédé sert à tracer une ligne perpendiculaire à une ligne donnée; quand on est certain de l'exactitude de l'équerre dont on fait usage.

Fig. 4. *Sauterelle* ou *Fausse-Equerre*, représentée par deux projections; elle est composée de trois règles b, a, b , jointes d'un bout par un clou e rivé sur deux rosettes en cuivre noyées dans le bois; la règle du milieu a peut tourner librement autour de ce clou comme axe, les deux autres b, b , sont réunies et maintenues parallèles au moyen d'une cale c , de la même épaisseur que la règle a ; cette cale est collée et consolidée par une ou deux rivures; les deux règles b et la cale constituent le corps de l'équerre, que l'on fait quelquefois d'un seul morceau évidé. La règle a peut s'écarter suivant l'ouverture des angles dont on a besoin, et lorsque l'équerre est fermée, elle se loge complètement entre les deux autres, en appliquant sa coupe inclinée $x y$ contre celle également inclinée de la cale intérieure c . Un tenon d , qui peut tourner autour d'un clou rivé et se renfermer aussi entre les règles $b b$, sert d'appui lorsqu'il est ouvert comme celui désigné par la même lettre dans la fig. 2.

Quelquefois la règle de bois a est remplacée par une lame de métal, qui résiste mieux pour appuyer le traceret. L'exactitude de cet outil résulte de la rectitude des règles et du parfait parallélisme de celles $b b$.

Fig. 5. *Equerre à onglets*. Elle est représentée par deux projections, l'une est faite sur un plan parallèle à ses faces, l'autre la fait voir par un bout. Le corps $b d f g$ est plus épais que les ailerons $d e z y, b a x y$, et forme épaulements des deux côtés, afin qu'on puisse appliquer l'équerre par l'une ou l'autre face, en serrant un des épaulements contre l'arête de la pièce de bois sur laquelle on trace. Les deux ailerons sont disposés de telle sorte qu'ils donnent deux angles droits $a b d, x y z$, et un angle $b d e$ de cent trente-cinq degrés, supplément de l'angle de quarante-cinq degrés. Le premier, $a b d$, sert à tracer sur une face d'une pièce de bois une perpendiculaire à l'arête contre laquelle on appuie l'épaulement; on fait glisser l'équerre le long de cette arête, jusqu'à ce que le côté $a b$ coïncide avec le point par lequel doit passer cette perpendiculaire. Ce même angle, ou plutôt son égal $a g f$, sert à vérifier intérieurement si l'angle que font deux plans est droit. L'angle droit $x y z$ sert à vérifier aussi si deux plans ou deux faces d'une pièce de bois qui forment une arête saillante sont perpendiculaires l'un à l'autre.

Enfin l'angle $b d e$ a pour objet de donner sur une pièce de bois une ligne qui fasse un angle de quarante-cinq degrés avec l'arête contre

laquelle on appuie l'épaulement, en le faisant glisser jusqu'au point qui détermine la place de la ligne qu'il s'agit de tracer. Par la position donnée à l'angle $x y z$, formé par des ailerons, on se procure encore un angle $x y b$ de soixante degrés, et un angle $x y d$ de trente degrés.

Cet outil, emprunté à l'art du menuisier, ne sert au charpentier que lorsqu'il doit tracer des assemblages sur de très-petites pièces.

On règle et vérifie les angles droits de cet instrument par les moyens que nous avons indiqués pour les équerres des fig. 2 et 3. A l'égard de l'angle de cent trente-cinq degrés, on trace sur la face d'une pièce de bois bien dressée deux perpendiculaires à une de ses arêtes, et l'on achève le carré par une ligne parallèle à cette arête; les deux diagonales de ce carré font avec ses côtés, et par conséquent avec l'arête de la pièce des angles de 135 ou de 45 degrés, qui servent à vérifier celui $b d e$ de l'équerre. Les angles $x y b$, $x y d$ se vérifient au moyen d'un triangle équilatéral au lieu d'un carré.

Les charpentiers se servent aussi d'équerres en fer, fig. 29, qui ont 2 ou 3 millimètres d'épaisseur.

Fig. 6. *Niveau de maçon*. Il est formé de deux règles assemblées en z , à angle droit et réunies par une traverse $o p$, le sommet de ce niveau doit former un angle droit, afin qu'il puisse au besoin servir d'équerre. Le plomb a est suspendu par une ficelle passée dans un petit trou z , où elle est retenue par un nœud ou par une petite cheville. Elle doit coïncider exactement avec le trait vertical $x y$, marqué sur la traverse, lorsque les deux pieds m et n posent sur deux points exactement de niveau.

Pour placer le trait $x y$ sur la traverse, on couche l'instrument sur une surface horizontale, on approche une règle assez longue contre les deux pieds $m n$, on couche sur le niveau l'équerre, fig. 2, en appliquant son corps contre la règle, puis on la fait glisser jusqu'à ce que sa branche coïncide avec le point z ; alors on trace le trait $x y$ profondément, ainsi que son prolongement jusqu'au point z , ce qui fait une sorte d'encoche; on vérifie l'exactitude du trait $x y$ en retournant l'équerre. On peut déterminer la position du trait $x y$ d'une autre manière; du point z comme centre, on trace un arc de cercle $t v$ sur la traverse, on établit de champ une grande règle bien dressée, mais hors de niveau; on place l'instrument verticalement, ses pieds posant sur la règle. Le fil à plomb prend sa position verticale, on marque alors avec précision le point où il croise l'arc de cercle; soit par exemple t ; en retournant le niveau, son fil à plomb croise l'arc de cercle dans un autre point v , que l'on marque également avec précision.

On divise l'arc tv en deux parties égales en y , on a ainsi un point du trait xy dont le prolongement doit passer par le point z .

L'épaisseur de ce niveau est ordinairement de 16 à 18 millimètres. Quoiqu'il soit désigné comme particulièrement à l'usage du maçon, il sert également au charpentier; on en construit de plusieurs grandeurs, suivant la longueur des lignes auxquelles on veut l'appliquer, et la précision qu'on veut obtenir; on peut donner quelquefois jusqu'à deux mètres aux côtés zm , zn qui forment l'angle droit. Pour peu que les lignes à mettre de niveau aient une grande étendue, on ne doit pas appliquer le niveau immédiatement à ces lignes; il convient de placer intermédiairement une longue règle, dont la rectitude a été vérifiée, afin que la coïncidence avec la ligne soit plus exacte, et qu'on puisse la juger sur une plus grande étendue; on pose alors le niveau sur cette règle, comme on le voit fig. 2, planche XXIV.

Fig. 7. *Niveau carré*. Ce niveau ne diffère du précédent que par la forme, son principe est le même; mais il peut servir dans un plus grand nombre de cas, vu qu'en outre de l'usage qu'on en fait comme du niveau précédent, il peut s'appliquer par sa partie supérieure pq en dessous des pièces pour déterminer leur position horizontale par le moyen de leur surface inférieure; on peut aussi l'appliquer latéralement par l'un de ses côtés pm ou qn , contre des pièces dont les faces doivent être verticales; le fil à plomb, fixé au point z du côté supérieur, doit toujours coïncider avec le trait xy ou milieu de la traverse, tracé comme il a été dit précédemment. L'épaisseur de ce niveau est ordinairement de 16 à 18 millimètres, comme celle du précédent.

Fig. 8. *Niveau de dessous*. Il sert à placer les pièces de bois de niveau par leur face inférieure, en y appliquant la règle mn . Cet instrument peut aussi servir de niveau ordinaire en le retournant. Les deux trous x et z sont destinés à loger le plomb, suivant le sens dans lequel on se sert de l'instrument.

La plaque pq étant appliquée au moyen d'une faible entaille et de deux vis sur la règle mn , qui forme épaulement en dessous; l'instrument peut servir d'équerre à épaulement, comme celle de la fig. 2.

Fig. 9. *Niveau de pente*. La base mn règle l'inclinaison.

Fig. 10. *Niveau du talus*. Son côté ab sert à vérifier la position verticale, celui de cd donne le talus.

Ces deux instruments se construisent exprès pour les pentes et talus suivant lesquels certaines pièces doivent être posées.

Les plombs des niveaux étant sujets à se perdre sur les chantiers et au levage, on peut les supprimer; les charpentiers les remplacent alors par leurs plombs ordinaires, fig. 4 et 5 de la pl. I, dont ils appliquent la ficelle dans la cloche du niveau répondant au point z , avec le pouce de la main droite dans laquelle ils tiennent le sommet du niveau, tandis que de la gauche ils tranquillisent le plomb, ou font signe aux compagnons pour mouvoir le bout de la pièce qu'il s'agit de poser. Pour juger de la coïncidence du fil à plomb avec la ligne $z x$, il faut se placer exactement en face du niveau.

Nous n'avons point figuré les instruments nommés *règles*, à cause de leur simplicité; ce sont de longs parallépipèdes en bois, beaucoup plus large qu'épais, leur longueur doit être d'un nombre exact de mètres; les plus courtes ont au moins un mètre, celles le plus en usage ont deux mètres, mais pour les grands travaux on en fait de plus grandes, dont la longueur n'excède pas ordinairement six mètres; elles servent à tracer des lignes, et à les mesurer exactement; dans cette vue, elles sont divisées sur leurs faces de mètre en mètre, celles d'un mètre et de deux mètres sont divisées en centimètres. On leur préfère, pour tracer des lignes un peu longues, le cordeau, fig. 3, planche I, mais on ne peut s'en passer pour établir ou vérifier des niveaux. On choisit pour faire les grandes règles du bois sec, sain et sans nœuds, et ordinairement du sapin de fil, parce qu'il est plus léger et moins sujet à se rompre. Les règles doivent être parfaitement droites, exactement d'égale épaisseur et d'égale largeur d'un bout à l'autre. La rectitude de leurs faces étroites, appelées rives, d'où dépend l'exactitude des opérations auxquelles elles servent, s'obtient par l'adresse de l'ouvrier qui les exécute; en travaillant au moins deux règles à la fois, on les vérifie l'une par l'autre. Plus les règles sont longues, plus leurs dimensions doivent être fortes, notamment leur largeur, afin qu'elles ne plient point lorsqu'on s'en sort de champ et qu'elles se trouvent chargées d'un niveau. Une règle d'un mètre de longueur peut avoir un centimètre d'épaisseur sur trois ou quatre de largeur; une largeur de cinq à six centimètres et une épaisseur de deux à trois, suffisent pour une règle de deux mètres; mais une règle de cinq à six mètres ne doit pas avoir moins de trois centimètres d'épaisseur sur quinze à seize de largeur.

On doit vérifier souvent la rectitude des règles et la justesse des équerres, et les corriger dès qu'on y découvre quelques irrégularités; l'exactitude du travail, et notamment du trait des assemblages, dépend en majeure partie de celle de ces instruments.

3° Outils tranchants par percussion.

Pl. I, fig. 8 et 9. *Haches*. Toutes les haches sont en fer, une partie de la lame est garnie d'acier pour former le tranchant *a b*; cet acier s'étend suffisamment pour qu'il ne soit point enlevé par l'effet de l'aiguisement. Les manches des haches sont cylindriques, afin de glisser dans les mains; ils sont un peu aplatis pour qu'ils ne tournent pas et qu'on puisse mieux diriger les coups. L'extrémité de chaque manche qui pénètre dans la tête d'une hache est taillée en tenon tant soit peu pyramidal; un coin, chassé en sens inverse de celui suivant lequel le manche est entré, le serre dans l'œil de l'outil et l'y retient.

Tous les manches de hache sont en bois dur et fibreux, ordinairement en frêne et de fente, pour qu'ils soient parfaitement de fil.

Le tranchant d'une hache est le plus souvent à deux biseaux, parce qu'il ne sert qu'à enlever de gros copeaux, et par entailles; il est tracé en arc de cercle, et disposé de façon qu'il glisse un peu en frappant, sans quoi il briserait le bois et ne le couperait pas.

Chaque hache est représentée dans nos figures par deux projections verticales: l'une, parallèle à la lame et au manche, fait voir la hache de profil; l'autre projection, perpendiculaire à la première, fait voir la hache par devant. Pour les principales, nous avons ajouté une coupe de l'extrémité du manche.

La hache fig. 9 est plus forte que celle de la fig. 8, elle sert pour les plus gros ouvrages.

La cognée du bûcheron ne diffère de la hache de charpentier que par la largeur de la lame, qui n'est que de 54 à 81 millim., et la même près du tranchant que près du manche; et pour cette raison, il ne nous a pas paru nécessaire de la représenter dans nos planches. La cognée est destinée à faire des entailles profondes, une grande étendue de tranchant l'empêcherait de pénétrer dans le bois; la hache, au contraire, ne doit le plus souvent enlever que des copeaux de moyenne épaisseur, un tranchant plus étendu lui convient mieux. Quelques charpentiers se servent de la hache pour dresser et planer le bois, et ne lui font donner qu'un seul biseau, de façon que le tranchant se trouve sur l'une des faces de la lame, le biseau, et le manche sont alors du côté droit, comme ceux des outils représentés fig. 10 et 12; d'autres préfèrent les haches à deux biseaux pour s'en servir des deux côtés; c'est dans cette supposition que sont représentées les haches fig. 8 et 9.

Fig. 10. *Doloire* ou *épaule de mouton* (1). C'est une large hache qui sert à planer les faces des bois qu'on équarrit. Elle est représentée par deux projections, l'une, verticale, donne son profil; l'autre, horizontale, placée au-dessous de la première, fait voir la déviation de la douille $m n$, et du manche $m p$, ainsi que la forme du devant $a b$ de la lame.

La lame $a b c d$ de la *doloire* est plane dans toute la partie voisine de son tranchant $a b$, qui est à un seul biseau; dans tout le reste de son étendue elle est courbée, et sa douille $m n$ n'est pas dans un plan parallèle au tranchant, afin de dévier la direction du manche $m p$, d'ailleurs un peu courbé pour faciliter l'usage de cet outil.

Nous expliquerons la manière de se servir de la *doloire*, qui exige beaucoup d'adresse et d'habitude, en parlant de l'équarrissement des bois.

Fig. 11. *Hache de charron*. Quelques charpentiers des départements en font usage pour planer leurs bois; son tranchant $a b$ est ordinairement à deux biseaux pour qu'on puisse en faire usage des deux côtés d'une pièce de bois, sans changer de position.

Les biseaux doivent être fort allongés pour que le tranchant soit mieux affilé.

Le manche $c d$ est plus court que ceux des haches ordinaires, mais en même temps la douille $e c$ qui le reçoit est plus longue que l'œil des autres outils, afin qu'on puisse la faire plus mince et plus légère sans nuire à sa solidité, parce que, pour l'usage de cette hache qui n'exige pas de grands mouvements, il faut que l'extrémité de la lame où se trouve le tranchant ait plus de poids que sa tête.

Fig. 12. *Hache à main*. Cet outil ne diffère des autres haches que par sa taille et par la position latérale de son manche $c d$; il a en cela quelque ressemblance avec la *doloire*, fig. 10.

Le tranchant $a b$ n'a qu'un seul biseau du même côté que le manche, pour qu'il soit conservé dans le plan de la lame qui rase et touche la pièce de bois que l'on travaille. On se sert de cette hache de la main droite, tandis que de la main gauche on tient la pièce de bois dans une position verticale et appuyée sur un objet immobile, ordinairement un billot. On ne s'en sert que sur les pièces trop petites, pour que leur poids les retienne assez solidement en chantier.

(1) Le nom de *doloire* donné à cet outil lui vient de sa ressemblance avec le couteau dont les anciens se servaient pour démembrer les victimes; en latin *dolabra*.

Le manche *d* est renforcé dans la partie qui forme le tenon, est arrondi presque cylindriquement sur une partie de sa longueur et un peu méplat, afin qu'il ne tourne pas dans la main; il est terminé par un renflement pour qu'il n'échappe pas; on peut l'assujettir dans l'outil au moyen d'un coin.

Fig. 13. *Herminette* ou *Essette*. C'est une hache dont le tranchant *a b* est dans un plan perpendiculaire au manche *e d* enfilé dans l'œil de l'outil par son plus petit bout *d*; le biseau est intérieur.

L'herminette est fort en usage dans les travaux de charpenterie de la marine; elle est si utile et si commode, qu'elle s'est répandue parmi les charpentiers des départements voisins des côtes; elle sert aussi bien et plus commodément que la doctore pour planer et unir les bois; elle est indispensable pour le travail des parties concaves des pièces taillées en courbes, pour lesquelles on s'en sert comme les charrons pour façonner l'intérieur aussi bien que l'extérieur des jantes de roues; on s'en sert aussi pour recalcr les tenons.

Pour planer une pièce de bois, l'ouvrier se place devant en inclinant la face qu'il veut unir, de façon qu'elle soit à peu près perpendiculaire au manche de l'outil.

L'herminette sert également à dresser et ragréer des surfaces étendues, composées de plusieurs pièces réunies, et sur lesquelles aucun autre outil, le rabot excepté, ne pourrait s'appliquer, quelles que soient d'ailleurs leur inclinaison et leur courbure.

On enlève avec cet outil des copeaux extrêmement minces, comme si on pelait le bois, et l'on parvient à en polir les faces presque aussi bien qu'avec la varlope, qu'il remplace dans les contrées du Nord.

L'herminette doit être affilée de façon que son tranchant, compris dans la surface extérieure de sa panne, soit en arc de cercle d'une faible courbure, pour que l'on puisse plus aisément entamer le bois en abaissant un peu le manche; plus on le relève, plus les copeaux deviennent minces. La panne est au surplus cintrée comme il convient à l'ouvrier, pour que le mouvement naturel de ses bras fasse raser le bois par le tranchant.

Fig. 14. *Herminette à gouge*. Cet outil diffère du précédent par la forme de sa panne qui est contournée en gouge, dont la concavité est du côté du manche *e d*, son tranchant *a b* est circulaire; il ne sert que pour creuser des pièces de bois en gouttière. Cet outil est représenté par deux projections verticales comme le précédent; il porte aussi une tête de marteau *f*, et il s'emmanche ordinairement de même.

Fig. 15. *Herminette* en usage dans les pays méridionaux, notamment

en Espagne, où on la nomme *azula*; elle paraît y avoir été apportée par les Arabes. Elle est représentée, ainsi que la suivante, par deux projections verticales; le fer est tranchant du bout *a b*, son biseau est du côté de la face concave de la panne, il est terminé par une tête de marteau *f*; mais on ne se sert jamais de ce marteau, sinon lorsqu'il s'agit de démancher l'outil qui n'est point percé d'un œil pour recevoir le manche; cette tête de marteau n'a pour objet que de donner du poids au fer, pour augmenter la puissance du coup lorsqu'on le fait agir. Le manche *c* est en bois très-dur et en forme d'S, il s'applique sans tenon contre le fer; une sorte de talon *g* détermine sa position, il est retenu par un anneau carré *d* en fer, serré par un coin *h* également en fer. Cette herminette sert comme celle de la fig. 15, mais son action est moins puissante, par la raison qu'elle est plus petite, et qu'on ne la fait agir que d'une seule main, de la même manière que la hache à main de la fig. 12.

Fig. 16. *Herminette* du même genre pour les mêmes ouvrages. Son manche lui est appliqué à joint plat et un peu incliné, il est retenu sans talon, par une boucle carrée en fer *d*; pour serrer le manche contre le fer, il faut frapper avec un marteau contre sa tête *g h*, en tenant l'outil renversé. Le choc du tranchant *a*, en travaillant, suffit pour maintenir le manche en joint; pour démancher cet outil, on frappe sur un corps quelconque avec la tête de marteau *f*.

Fig. 17. *Ciseau*. Cet outil est commun au charpentier et au menuisier; c'est une lame de fer *a*, garnie d'acier sur la moitié ou les deux tiers de sa longueur, pour fournir au raccourcissement de l'outil par l'effet de l'aiguisement; l'autre bout est terminé par une soie qui pénètre dans un manche de bois *b*; l'embase *c* a pour objet de transmettre à l'outil la percussion du maillet sur la tête du manche; sans cette embase, la soie, en pénétrant dans le manche, le fendrait. Le tranchant est à un seul biseau, de manière qu'il se trouve dans l'une des faces de la lame. Ce ciseau, et tous ceux du même genre, soit à manches de bois, soit entièrement en fer, qui occupent le milieu du haut de la planche, sont représentés par deux projections verticales: l'une parallèlement à la plus grande largeur de la lame fait voir l'outil de face, l'autre le présente de profil. Pour se servir de cet outil, on le tient dans la main gauche par son manche, tandis qu'on frappe de la droite avec le maillet, fig. 1, pl. II. Lorsqu'on veut inciser dans le bois, on tient l'outil perpendiculairement, et l'on a soin, avant de frapper, de placer exactement le tranchant sur l'emplacement où l'on veut qu'il pénètre.

Ce n'est que peu à peu qu'on approche du trait qui dessine la portion de bois qu'on veut enlever, et si l'on veut faire sauter des éclats, on couche l'outil sur son biseau; l'on doit préalablement limiter leur étendue par un coup de tranchant. On se sert aussi du ciseau sans le frapper avec le maillet, lorsqu'il n'y a que peu de bois à enlever, ou que cela est plus commode. On tient alors le manche dans une main, la lame dans l'autre; on lui imprime le mouvement propre à le faire couper; on frappe même quelquefois sur la tête du manche avec la paume de la main.

On a des ciseaux de diverses largeurs, suivant l'ouvrage qu'il s'agit d'exécuter; mais les charpentiers qui ne les emploient que pour faire des tenons et des mortaises, ne se servent que des plus larges.

Fig. 18. *Fermeoir*. C'est un ciseau dont le tranchant est formé par la rencontre de deux biseaux allongés qui se raccordent avec les deux faces de la lame. Il est emmanché comme le ciseau, il sert à ébaucher les tenons et les mortaises, et notamment à enlever de gros éclats.

Fig. 19. *Ébauchoir*. C'est un ciseau à deux tranchants formant un angle, chacun à un ou deux biseaux, au goût de l'ouvrier. Cet outil ne sert qu'à ébaucher les pas de vis et quelques embrèvements.

Fig. 20. *Fermeoir à douille*. Cet outil ne diffère du *Fermeoir*, fig. 18, que par la manière dont il est emmanché; sa lame porte par le bout opposé au tranchant d'une douille qui reçoit un manche arrondi.

Fig. 21. *Bec d'âne* ou *bédâne*. Ciseau étroit et épais; son tranchant est dans l'un des plans de la lame, et n'a qu'un seul biseau formé de deux plans. Cet outil ne sert que pour couper le bois perpendiculairement aux faces des pièces, et faire des incisions étroites et profondes, telles que les abouts des mortaises et embrèvements; il est utile aussi pour vider les mortaises.

On s'en sert en frappant sur le bout du manche avec le maillet; on fait deux incisions pour enlever un copeau; la première près du trait qui marque la place où le bois doit être coupé perpendiculairement; on tient la lame du bédâne de façon que sa face, qui contient le tranchant, soit perpendiculaire à celle du bois, le biseau tourné du côté du bois qui doit être enlevé, et qui se trouve alors refoulé par l'impression du biseau. Pour faire sauter le bois coupé, on fait la seconde incision à une distance de la première, qui dépend de la longueur qu'on veut donner au copeau; en penchant un peu le bédâne en arrière, on détermine le glissement du tranchant sur son biseau, on le fait pénétrer sous le bois pour soulever le copeau, qui ne se détache qu'en se déchirant dans le fond et sur les côtés, et

qui n'a pour largeur que celle du bédâne; on est obligé de recaler le bois avec le ciseau.

Fig. 22. *Besaiguë*, nom qui répond à *deux fois aiguë*. C'est l'outil dont les charpentiers font le plus fréquemment usage. Il est formé d'une barre de fer plate, garnie d'acier à ses deux extrémités pour former les deux tranchants. L'un *a*, appelé ciseau, est large et plat, il n'a qu'un seul biseau comme le ciseau de la fig. 17. Son tranchant, qui est tant soit peu en ligne courbe, est dans l'une des grandes faces de la barre qui forme le corps de la besaiguë. Ce tranchant sert à couper le bois dans un plan parallèle à son fil; l'autre tranchant *b* est un bédâne comme celui de la fig. 21; il est situé dans un plan perpendiculaire au premier, sur l'une des faces de la besaiguë qui forment l'épaisseur de la barre; il sert à couper le bois perpendiculairement. Sur le milieu de la longueur de l'outil est une douille *c*, à peu près conique et courte, son axe est perpendiculaire à celui de l'outil, et dans le plan qui divise en deux parties égales l'épaisseur de la barre, elle est soudée dans la face dont le prolongement contient le tranchant du bédâne, elle sert de manche.

La besaiguë est représentée dans la fig. 22 par deux projections verticales, l'une sur un plan parallèle à la grande face ou largeur de la barre, qui contient le tranchant du ciseau, et l'autre sur un plan parallèle à la face étroite, ou épaisseur de la barre, qui contient le tranchant du bédâne; la douille doit être placée de telle sorte que le charpentier, la tenant dans sa main droite, l'outil devant lui et éloigné de son corps, le ciseau étant en bas et son biseau à gauche, et le bédâne en haut, son biseau soit du côté opposé à la douille; cette disposition entre les tranchants et la douille est indispensable pour l'usage de l'outil, à moins que l'ouvrier ne soit absolument gaucher; mais il est rare qu'un ouvrier gaucher pour l'usage de tout autre instrument, le soit aussi pour celui de la besaiguë.

Lorsqu'un charpentier se sert de la besaiguë, il tient la douille dans sa main droite, le corps de l'outil à peu près vertical et en dessus; la main gauche, placée le long de la lame, plus bas que la douille, sert à diriger les coups de l'outil, dont la partie supérieure est légèrement appuyée contre l'épaule droite. L'ouvrier porte la tête un peu en avant pour voir l'emplacement sur lequel l'outil est appliqué. Dans cette position, s'il se sert du ciseau, la pièce dont il coupe du bois est placée entre lui et l'outil, le biseau se trouve tourné extérieurement, par rapport à la face du bois sur laquelle agit le tranchant.

Plusieurs charpentiers se servent de la besaiguë des deux mains, c'est-à-dire en tenant la douille de la main droite ou de la main gauche, suivant que cela est plus commode pour atteindre efficacement le bois à couper.

Si l'ouvrier, en se servant du ciseau, est forcé de passer la besaiguë entre lui et la face du bois qu'il veut travailler, il tourne la douille en-dessus, la besaiguë se trouve alors en-dessous de la main droite, le long de la jointure intérieure du poignet.

Enfin si le charpentier se sert du bédâne pour faire quelque entaille creuse comme celle d'une mortaise, le biseau doit se trouver du côté du copeau qu'il veut enlever, et le tranchant doit être perpendiculaire au fil du bois. Pour enlever le copeau après la première incision, il faut en faire une nouvelle qui détermine sa longueur et le soulève par l'effet du glissement du tranchant sur son biseau, de la même manière qu'avec le bédâne ordinaire.

On voit que la besaiguë tient lieu à la fois du ciseau et du bédâne, fig. 17 et 21, et même du maillet; son poids et l'impulsion qu'on lui donne remplacent la percussion; et comme le bois qu'on travaille est peu élevé sur le sol, la longueur de l'outil fait que le charpentier n'a pas besoin de se baisser. Ceux qui n'ont pas l'habitude de se servir de cet outil sont privés de cet avantage; ils sont obligés de se courber et même de se mettre à genoux, ou de s'asseoir sur les pièces pour agir avec le ciseau et le bédâne ordinaires en s'aidant du maillet, qui exige un mouvement du bras droit très-fatigant.

Le ciseau de la besaiguë remplace avec avantage aussi la doloire, fig. 10, et même l'herminette, fig. 13, dans beaucoup de cas pour dresser et planer les bois.

Fig. 23. *Piochon*. Cet outil est représenté comme la besaiguë par deux projections. C'est une *besaiguë* plus courte que la précédente, et dont la douille *c* est garnie d'un manche en bois *d e* rond et conique dans la partie qui entre dans cette douille, et méplat dans celle où les mains s'appliquent; le piochon peut être formé en arc de cercle, tel qu'il est représenté dans la figure, ou droit comme la besaiguë, fig. 22, au choix de l'ouvrier. Son ciseau *a* est ordinairement à deux biseaux fort larges pour couper sur ses deux faces, ce qui en rend l'usage un peu plus difficile. Son bédâne *b* est pareil à celui de la grande besaiguë.

Le charpentier qui se sert du piochon pour faire une mortaise ou toute autre entaille semblable, est assis à cheval sur la pièce qu'il travaille; l'about de la mortaise étant plus rapproché de lui que sa gorge, il agit avec le bé-

dâne pour enfoncer la mortaise; sans changer de place, il en recale les joues avec le ciseau. Pour recaler les tenons, il faut que l'ouvrier se tienne debout et un peu courbé.

Cet outil n'est pas aussi commode que la grande besaigné, et il est plus difficile d'en obtenir un travail exact.

Fig. 24. *Gouge*. C'est un petit ciseau dont la lame est creuse d'un côté et bombée de l'autre, le biseau de son tranchant est en dedans. La gouge est commandée comme les autres ciseaux. Elle est utile pour faire des cannelures et des trous arrondis de peu de profondeur; on s'en sert en frappant sur le bout du manche avec le maillet.

Fig. 25. *Gouge en fer* pour amorcer les trous qu'on veut percer avec une tarière, fig. 30. Le tranchant de cette gouge est courbe dans deux sens, son biseau est extérieur, afin qu'en la tenant perpendiculairement et en frappant dessus, le copeau soit enlevé de la circonférence au centre du trou sans qu'elle entre profondément.

Fig. 26. *Ébauchoir* en fer; son tranchant angulaire est en acier à double biseau. Cet outil sert aux mêmes usages que celui de la figure 19; il est surtout utile pour couper les bois extrêmement coriaces, parce qu'on le frappe avec un marteau.

Fig. 27. *Ciseau à froid*. Outil emprunté de l'art du serrurier, ainsi nommé parce qu'il doit couper le fer qu'on ne peut pas faire rougir; il sert à couper les broches et clous qu'on rencontre dans les bois de démolition qu'on remet en œuvre. On le frappe avec un marteau.

Fig. 28. *Pied de biche*. On frappe ce ciseau de fer avec un marteau. Les bords intérieurs de la fourchette, qui est en acier, forment deux tranchants à biseaux très-courts pour saisir, en les entaillant un peu, les clous et broches en fer que la rouille retient dans les vieux bois, et les extirper en appuyant fortement sur le bout du manche.

Fig. 29. *Tenailles* ou *triquoises*. Cet outil est en fer; il sert à arracher les clous. Les mâchoires *a* sont en acier. l'extrémité de l'une des branches est terminée par un bouton, et l'autre *b* est aplatie et fendue en pied de biche pour relever les clous couchés sur le bois, ou extirper ceux de petite dimension.

Pour arracher un clou avec les tenailles, on le saisit entre les mâchoires, le plus près possible du bois dans lequel il est implanté, on le serre fortement en faisant effort avec les mains pour rapprocher les branches, on rabat les tenailles en les appuyant, soit sur le dos de l'une de leurs mâchoires, soit sur

les angles de leurs tranchants; il est rare qu'un clou ne cède pas à l'action de ce puissant levier.

4° Outils tranchants à corroyer et planer le bois.

Quoique les outils tranchants que nous avons décrits dans le paragraphe précédent puissent à la rigueur suffire pour planer et façonner les bois de charpente, ils ne sont pas d'un usage commode pour les pièces d'un petit volume, et ils ne permettent pas toujours un travail assez rapide ni assez fini, lorsqu'on veut que les surfaces des gros bois parviennent au degré de perfection dont elles sont susceptibles, et qu'on désigne sous le nom de *poli*, parce que les coups d'outils ont disparu complètement. On a inventé, pour parvenir plus promptement et plus sûrement à cette perfection, un genre d'outils appelés *rabots*, qui attaquent le bois au moyen d'un mouvement qui n'est pas entièrement continu, mais qui agit cependant sans interruption sur une assez grande étendue des surfaces qu'on veut planer.

Soit que ce genre d'outils ait déjà été aux mains des charpentiers, au temps où ils étaient chargés de tous les ouvrages en bois, quel que fût leur objet et la petitesse de leurs dimensions, soit qu'il ait été emprunté aux menuisiers depuis que l'art en se perfectionnant a séparé leur profession de celle du charpentier, ceux-ci font un fréquent usage du rabot, surtout dans les départements, où leurs travaux comprennent la construction des planchers, des cloisons et des escaliers légers.

Corroyer un morceau de bois, c'est le dresser, en planer les faces et les polir au moyen d'un rabot; l'expression corroyer est appliquée à ce mode de travail du bois, à cause de l'analogie de l'opération dont il s'agit avec celle que les corroyeurs font sur leurs cuirs pour en unir et lisser la surface.

Les rabots sont tous composés d'une lame tranchante appelée fer, et d'un fût en bois qui a pour objet de maintenir la lame dans la position qui convient pour qu'elle coupe le bois, de régler la quantité de bois qu'elle doit enlever et de donner le moyen de la conduire avec les mains.

Les rabots sont de différentes espèces, suivant qu'il s'agit simplement de corroyer le bois ou de lui donner les formes qui conviennent à l'objet des pièces que l'on travaille.

Les charpentiers corroient rarement leurs bois pour les ouvrages ordinaires, ils rencontrent cependant différentes circonstances où la forme et la précision des surfaces dont ils font usage ne peuvent être obtenues

qu'au moyen des rabots. Dans le travail des belles charpentes apparentes que l'on fait aujourd'hui, dont toutes les pièces sont dressées et équarries avec soin, l'usage des rabots pour achever de planer et polir les surfaces est encore le moyen le plus rapide, le plus économique et celui qui donne le meilleur résultat.

Tous les fûts des rabots sont en bois durs et compactes, tels que le poirier, le cerisier, le sorbier, le cormier. Ils sont faits avec soin et justesse, parce que c'est le moyen d'en obtenir un bon travail.

Nous ne décrivons que ceux qui peuvent être utiles aux charpentiers.

Pl. III, fig. 1. *Galère*. Cette espèce de *rabot* est représentée par deux projections : la projection verticale est au-dessous de la projection horizontale.

a, Fût en bois dur. C'est un prisme rectangulaire dont les arêtes sont abattues en chanfrein, afin de ne point blesser la main des ouvriers. Le dessous du fût, qui est appelé *piéd* ou *semelle*, doit rester à vives arêtes, et doit être parfaitement dégauchi et dressé, suivant un plan perpendiculaire aux faces latérales.

Ce fût est percé vers le milieu de sa longueur par une mortaise *b* fort évasée, suivant la longueur de l'outil, dans sa partie supérieure; et fort étroite dans la semelle, où son ouverture prend le nom de *lumière*.

d e, Chevilles tournées servant de poignées. La cheville *d* répond au bout antérieur du fût; la cheville *e* répond au bout postérieur.

f, *Fer*. Ce fer est une lame d'acier, ou au moins garnie d'acier dans le bout répondant au tranchant; elle est d'égale largeur dans la majeure partie de sa longueur. Son tranchant est disposé comme celui d'un ciseau, cette lame traverse le fût dans toute son épaisseur, en s'appliquant sur la pente de la mortaise, dont elle occupe à très-peu près toute la largeur, parce qu'il faut un peu de jeu pour que l'on puisse, au moyen de la direction de la lame, rendre son tranchant parallèle à la semelle de la galère. L'épaisseur de la lame ne remplit que le tiers environ de la lumière, ce qui reste vide donne passage aux copeaux; son biseau est en dessous.

g, Coin qui sert à maintenir le fer. Ce coin se pose par son dessous à plat sur le fer, qu'il maintient d'un bout à l'autre sur la pente de la mortaise; en dessus, il porte contre deux petits épaulements dont les saillies *x x* se montrent dans l'ouverture supérieure de la mortaise, et qui finissent à rien du côté de la lumière, pour ne pas gêner l'ascension des copeaux.

Le coin ne s'étend point sur tout le tranchant, il est échancré dans

son milieu par un chanfrein qui force les copeaux à s'élever au-dessus de lui.

Au moyen de cette disposition, il reste entre le coin et la partie antérieure de la lumière un grand vide par lequel montent les copeaux enlevés par le fer, pour être rejetés par l'ouverture supérieure de la mortaise. En frappant avec un marteau sur la tête du coin, on assure l'immobilité du fer; en frappant sur le bout postérieur de la galère, on desserre le coin, et l'on fait en même temps rentrer le fer; on le fait avancer en frappant suivant sa direction sur le bout de sa queue qui dépasse le coin; c'est ce qu'on appelle donner du fer. On place le tranchant parallèlement à la semelle de la galère, en frappant sur les côtés de la queue du fer.

Tout ce que nous venons de dire sur la disposition du fer, de la mortaise, de la lumière et du coin, s'applique à toutes les espèces de rabots.

La galère sert à dégrossir les surfaces des bois qu'on veut planer, notamment de ceux débités à la scie de long. L'usage de cet outil étant en général fatigant, le charpentier se fait aider par un compagnon ou un apprenti. La pièce à planer est posée horizontalement à la hauteur des mains; les menuisiers la placent sur un établi porté sur quatre pieds et disposé pour la maintenir immobile; mais les charpentiers, qui ne portent point sur leurs chantiers ordinaires un équipage aussi pesant qu'un établi, lui substituent une pièce de bois quelconque, ou même quelques épaisseurs de planches élevées horizontalement sur deux ou trois chantiers, et la pièce qu'il s'agit de planer est arrêtée par un obstacle, tel qu'un mur, un poteau, ou un pieu planté exprès, contre lequel on dispose perpendiculairement l'espèce d'échafaudage qui tient lieu d'établi.

Le charpentier se place le long de la pièce qui doit être rabotée, l'ayant à sa droite, la jambe gauche plus avancée que la droite; le compagnon ou l'apprenti est placé du même côté, faisant face au premier. Ils saisissent chacun la galère par la cheville ou poignée qui se trouve de son côté, la partie postérieure de l'outil se trouvant du côté du charpentier.

Les choses étant ainsi disposées, un mouvement de va-et-vient est imprimé à l'outil dans le sens de sa longueur, en appuyant sur les chevilles quand il est poussé en avant, afin que le tranchant de son fer entame le bois et enlève des copeaux sur une longueur égale au développement que les ouvriers peuvent donner à leurs bras. On enlève ainsi une petite épaisseur de bois sur toute la longueur de la pièce, en commençant par le bout qui est à la droite du principal ouvrier. Le tranchant du fer de la galère, représenté fig. 10, est arrondi, afin qu'il morde mieux; autrement

il serait trop difficile de le faire agir; il laisse de fortes marques de son passage; mais les autres rabots, que l'on passe ensuite et dont on n'aurait pas pu se servir avant le dégrossissement fait par la galère, achèvent de planer le bois et de le polir.

Le nom de cet outil lui vient de la ressemblance qu'on a cru trouver entre le travail de ceux qui le font mouvoir et celui nécessaire pour manœuvrer les rames d'une galère de mer; il répond, dans le travail de la charpenterie, au rabot qui sert aussi à dégrossir et blanchir les planches, que les menuisiers nomment *riffard*.

Fig. 2. *Varlope*, grand rabot.

a, Fût; *b*, poignée le plus souvent formée d'un morceau ajouté au fût. Cette poignée est percée d'un trou ovale pour passer les quatre doigts de la main droite, avec laquelle l'outil est conduit, la gorge, formée par le crochet qui surmonte la poignée, portant entre le pouce et l'index.

c, Corne servant à appuyer la main gauche, dont les doigts sont appliqués le long de la face droite du fût, tandis que le pouce s'étend sous la corne dans la gorge qu'elle forme avec le dessus. Cette corne est ordinairement du même morceau que le fût; quelquefois elle est prise dans un morceau ajouté. On exigeait jadis que le fût, la poignée et la corne fussent d'une seule pièce; aujourd'hui, la poignée peut être prise dans un morceau ajusté à rainure dans le fût; lorsque la poignée est ajoutée, elle est moins solide; cette partie de l'outil recevant tout l'effort du travail, il est plus convenable de la faire d'une seule pièce avec le fût. A l'égard de la corne, comme elle est sujette à se casser très-souvent, on peut la supprimer; elle est d'ailleurs peu nécessaire : la pression de la main sur le fût est suffisante pour le diriger. On laisse à sa place une espèce d'écusson qui s'élève de quelques millimètres et sur lequel on frappe avec le marteau pour ébranler le fer et le coin qui le maintient, lorsqu'il s'agit d'augmenter ou de diminuer la saillie du tranchant.

f, Fer de la varlope appliqué sur la plante de la mortaise. Son large tranchant doit être en ligne droite et dans le plan du dessus de la lame, le biseau en dessous. L'inclinaison du dessus du fer, par rapport à la semelle, est de 45 à 50 degrés.

g, Coin servant à serrer le fer pour l'assujettir. Il est échancré dans le bas et présente un chanfrein comme celui de la galère et de tous les rabots, pour faire remonter les copeaux.

Pour faire usage de la varlope, le charpentier se place le long de la pièce qu'il s'agit de planer; l'ayant à sa droite, la main du même côté appliquée à la poignée, la gauche à la corne ou à son emplacement, les doigts allongés le long de la face du fût, le pouce étendu en dessus, il fait effort de la paume de la main droite sur la poignée pour appuyer sur le bois et pousser le fût en avant; de la main gauche il dirige la varlope et exerce une petite pression pour faire mordre le tranchant du fer, si le poids du fût ne suffit pas. Le charpentier pousse la varlope tant que son fer prend du bois; il marche, à cet effet, le long de la pièce, et de manière à imprimer à l'outil un mouvement bien uniforme, parce que les inégalités marquent sur le bois. Lorsqu'il a fait faire à la varlope tout le chemin qu'elle peut parcourir utilement, il la ramène à reculons, en la faisant glisser, et mieux en la portant, pour la faire agir de nouveau, de la même manière, à une autre place.

En faisant mouvoir la varlope, on donne à l'axe de son fût un peu d'inclinaison, par rapport au chemin qu'on lui fait parcourir, pour que le tranchant se présente au fil du bois, sous un angle qui diffère un peu de l'angle droit, afin qu'il coupe mieux; il suffit, pour cela, d'éloigner la main gauche un tant soit peu plus du corps que la droite.

On doit diminuer la saillie du fer à mesure que le travail se perfectionne et que les inégalités du bois disparaissent. Avant d'employer la varlope, on passe la *demi-varlope* qui est un rabot de la même forme, mais un peu plus petit, et dont le fer présente un tranchant moins arrondi que celui du fer de la *galère* ou du *riflard*. La *demi-varlope* a pour objet d'enlever une partie des inégalités ou côtes longitudinales que laisse le travail de la *galère*; la varlope achève de planer le bois, qu'elle doit couper avec netteté, parfaitement uni, brillant et comme poli, si on a eu soin de ne donner que très-peu de saillie au fer, et de tenir le tranchant bien affilé sur la pierre à l'huile.

Fig. 3. *Rabot*. Cet outil est représenté par une projection horizontale et deux projections verticales; dans celle sur la droite, il est vu par le bout antérieur. *a*, Fût; *b*, fer; *c*, coin. On a supposé, dans la projection horizontale, que le fer et le coin sont ôtés pour laisser voir l'entrée de la mortaise *d* et la lumière ponctuée *a'*. Le rabot n'a aucune poignée; on le tient avec les deux mains; le bout du fût est dans la paume de la main droite en arrière du fer; la main gauche est en avant de la mortaise, embrassant le rabot sur l'arête supérieure. On se sert du rabot toutes les fois qu'on ne peut pas faire usage de la varlope, soit à cause de la position

de la pièce sur laquelle il faut agir, soit à cause de son peu d'étendue qui ne laisse pas une course suffisante pour la varlope, soit enfin à cause du peu de travail qu'il faut faire, et qui n'exige pas l'action d'un instrument aussi pesant que la varlope. Le tranchant du rabot est droit toutes les fois qu'il s'agit de planer; on lui donne plus ou moins de saillie, suivant l'épaisseur qu'on veut donner aux copeaux; on ne donne que très-peu de fer lorsqu'il s'agit de polir une surface.

On substitue quelquefois au fer droit un fer à tranchant un peu cintré, lorsqu'on veut enlever un copeau épais, et qu'il s'agit de corroyer un morceau de bois sur lequel la galère, le riflard ou la demi-varlope n'auraient pas une assiette suffisante.

Fig. 4. *Rabot cintré convexe*, représenté par un seul profil. Cet outil ne diffère du rabot précédent que parce que sa semelle est courbe; il sert à raboter les surfaces concaves dont la courbure est dans le sens du fil du bois.

Fig. 5. *Rabot cintré concave*, représenté aussi par un seul profil. Ce rabot sert à raboter les surfaces convexes.

Les mêmes lettres désignent les mêmes objets sur les figures 3, 4 et 5.

Ces sortes de rabots ne peuvent servir que pour les surfaces dont la courbure est exactement la même que la leur, et l'on est dans la nécessité de construire un rabot cintré pour chaque courbure qu'on peut avoir à travailler. Les rabots cintrés ne doivent travailler qu'avec très-peu de fer; autrement le tranchant entrerait trop profondément dans le bois, et il n'y aurait plus moyen de faire marcher l'outil.

On ne doit le faire agir sur les fibres interrompues par la courbure qu'en coupant les fibres supérieures avant les inférieures, et jamais en les prenant au rebours, parce que le fer s'y engagerait et l'outil serait arrêté ou ne marcherait que par secousses qui gêneraient l'ouvrage. Ainsi, pour appliquer le rabot à une pièce cintrée, il faut conduire l'outil dans la partie concave, depuis chaque bout de la pièce jusqu'au milieu ou fond du cintre concave; et pour le cintre convexe il faut, au contraire, commencer à agir sur le milieu du cintre, c'est-à-dire sur sa partie la plus élevée, et conduire le rabot vers les bouts.

Fig. 6. *Guillaume*. Ce rabot est représenté par deux projections verticales, l'une le fait voir sur un plan parallèle à sa longueur; l'autre, par son bout antérieur. Le guillaume sert à atteindre le fond des arêtes creuses formées par deux plans qui se rencontrent à angle droit, pour

les polir lorsqu'elles ont été ébauchées avec le ciseau ou la besaiguë. *a*, Fût; *f*, fer; *g*, coin.

Le fer est représenté isolément, vu de face et de plat, fig. 12. La partie inférieure, qui est la plus large, est tranchante par le bout; lorsqu'elle est placée dans le fût, elle en occupe toute l'épaisseur; elle se trouve logée dans une entaille qui est inclinée, par rapport à la semelle, de 45 à 50 degrés. La rencontre de cette entaille avec le plan de la semelle forme la lumière qui est ouverte sur toute la largeur de la semelle. La queue du fer se prolonge en dessus en passant au travers d'une mortaise qui n'occupe que le tiers de l'épaisseur du fût, et qui est évasée par en haut dans le sens de sa longueur, de façon à recevoir le coin qui achève de la remplir entièrement et maintient le fer.

On serre le coin en frappant sur sa tête avec le marteau, et on le deserre pour l'enlever en frappant en sens inverse dans l'encoche qu'il porte en dessus; on préfère ce moyen à la percussion sur le bout postérieur du fût pour desserrer le coin, attendu que, comme le fût est fort étroit, si on le frappait par le bout il pourrait être promptement dégradé. On frappe cependant sur cette partie du fût pour faire rentrer la lame et diminuer la saillie du tranchant, mais ce n'est qu'à très-petits coups, qui n'ont point d'inconvénients. Un peu de jeu laissé dans la largeur de la mortaise permet, en frappant latéralement la queue du fer, de placer le tranchant parfaitement parallèle au plan de la semelle.

Le fût est traversé dans toute son épaisseur par une échancrure circulaire *b* qui reçoit les copeaux au-dessus de la lumière. Cette échancrure est évasée également des deux côtés, afin que les copeaux se dégorgent d'eux-mêmes.

Le guillaume est tenu comme un rabot simple; mais, comme il faut le faire agir également sur les deux plans qui forment une arête creuse, on lui donne aussi une position horizontale lorsqu'il faut travailler le côté d'une arête creuse qui est vertical.

Le nom de *guillaume* donné à ce rabot est probablement celui de son inventeur.

Fig. 7. *Bouvet à languettes*. Rabot qui sert à faire les languettes sur l'épaisseur des planches ou sur le bord des pièces de bois. Cet outil est représenté par une projection verticale sur un plan parallèle à sa longueur, et une coupe par un plan vertical et perpendiculaire à la projection verticale, suivant la ligne *m n*.

On voit, par cette coupe, que la semelle de l'outil est partagée d'un bout à l'autre en trois parties; les deux latérales s'appuient sur le bois qui doit

être enlevé des deux côtés, celle du milieu ne portant que lorsque la languette a acquis sa saillie, dont elle règle l'uniformité. Le fer *f*, qui est représenté à part, fig. 13, a son tranchant divisé en deux parties. Il est placé dans le fût *a* comme ceux des autres rabots, et tenu par un coin *g* dans une entaille qui s'ouvre sur la face droite du fût. Du côté de la face gauche, la semelle est bordée par un épaulement *p* qui sert de guide pour conduire l'outil le long de l'arête du bois à bouveter, et bien parallèlement.

Un œil circulaire et évasé *b* est ouvert dans la face droite, comme celui du guillaume, pour dégorger les copeaux. Un rentort *q*, pris dans le même morceau de bois ou ajouté avec des vis dans la partie supérieure de la même face, consolide le fût et change dans toute la hauteur qui lui correspond l'entaille en mortaise dans laquelle se prolonge la queue du fer et la tête du coin, que l'on serre et desserre comme celui du guillaume.

Fig. 8. *Bouvet à rainures*. Ce rabot est représenté par une projection verticale et une coupe suivant la même ligne *m n*. Il sert à creuser des rainures sur l'épaisseur des planches ou sur le bord des pièces de bois (1). La coupe fait voir que la semelle de son fût est partagée en trois parties, de manière à porter d'abord par celle du milieu sur le bois qu'il s'agit d'enlever pour creuser la rainure; les deux autres ne portent que lorsque la rainure a atteint sa profondeur, dont elles assurent l'uniformité. Le fer *f* de ce bouvet est représenté à part, fig. 14. Son tranchant unique a juste la largeur que doit avoir la rainure; il est exactement égal au vide laissé entre les deux parties du tranchant du fer, fig. 13, du bouvet à languettes : ce qui est indispensable pour que les languettes remplissent exactement les rainures quand on joint les bois.

Le fer est placé comme celui des autres rabots; il passe dans une mortaise qui traverse le fût dans toute sa hauteur, et qui est remplie par le coin *g* que l'on serre et desserre comme celui du *guillaume*.

Les fers de bouvets doivent déborder un peu latéralement les petites joues des rainures et languettes de leurs fûts, afin que ces joues ne frottent pas contre le bois, et que le fer coupe sur toute la largeur de son tranchant lorsqu'on le fait agir.

(1) Le mot *bouvet* désignait dans l'ancien langage un bœuf, et l'on disait *bouveter* pour labourer avec des bœufs. Le nom de *bouvet* a donc été donné aux petits rabots dont il s'agit par une sorte d'analogie, parce qu'ils servent à *bouveter* le bois en y ouvrant des rainures semblables aux sillons d'une terre labourée.

La face droite du bouvet à rainures est, comme celle du précédent, creusée par un œil *b* circulaire et évasé, qui joint la lumière et atteint la mortaise pour que les copeaux puissent se dégorger facilement.

Quelquefois les deux bouvets à rainures et à languettes sont réunis dans un seul fût plus épais; les deux fers passent à côté l'un de l'autre en se croisant à peu près à angle droit; un épaulement commun sépare les deux semelles, et sert de guide pour la direction de l'un et l'autre outil, dont on se sert en sens inverses.

On fait aussi des *bouvets*, dits de deux pièces, qui servent lorsqu'on veut que les rainures et les languettes soient placées à différentes distances des bords du bois. L'épaulement qui sert de guide pour la direction de l'outil est alors une pièce séparée qui peut en être écartée, suivant le besoin, au moyen de deux prismes, comme celui du trusquin, fig. 18, et que l'on fixe avec des clefs.

Les bouvets sont des modifications du guillaume; ceux qui sont représentés fig. 7 et 8 ne servent que pour faire des rainures et des languettes en ligne droite, suivant le fil du bois. Lorsqu'on est dans la nécessité d'ouvrir des rainures qui croisent le fil du bois, il faut que les bouvets portent, dans leurs faces latérales, des lames en fer qui soient en forme de couteau, et qui précèdent le fer principal, afin que les fibres soient nettement coupées des deux côtés de la rainure avant d'être enlevées, autrement la rainure serait déchirée. Si la rainure doit être courbe, il faut que le bouvet soit taillé suivant sa courbure, et l'on attache sur la pièce à bouveter un liteau cintré pour lui servir de guide. Il est rare que les charpentiers aient occasion de faire usage de ces diverses sortes de bouvets, c'est pourquoi nous n'en avons pas donné de figures.

Fig. 9. *Fer de la varlope*, fig. 2, vu sur son plat. Son tranchant est droit, et n'a qu'un biseau comme tous les fers de rabots.

Fig. 10. *Fer de la galère*, fig. 1. Son tranchant est affilé en arc de cercle, afin qu'il morde mieux sur le bois.

Fig. 11. *Fer du rabot*, fig. 3.

Fig. 12. *Fer du guillaume*, fig. 6. Le tranchant répond à sa partie la plus large.

Fig. 13. *Fer du bouvet à rainures*, fig. 7. Le bout inférieur est divisé en deux lames qui ont chacune leur tranchant; les deux tranchants sont dans une même ligne droite. La queue de la lame porte un petit crochet latéral qui sert à faire, au besoin, rentrer la lame dans le fût pour diminuer la saillie du tranchant.

Fig. 14. *Fer du bouvet à rainures*, fig. 8. Le tranchant est étroit et égal à l'espace qui sépare les deux tranchants du fer précédent; il porte à sa queue un petit crochet qui a la même saillie et le même objet que celui du fer fig. 13.

Fig. 15. *Fer d'un rabot dont la semelle serait arrondie*, pour former des cannelures ou des arrondissements creux.

Fig. 16. *Fer d'un rabot dont la semelle serait creusée*, pour faire des baguettes ou arrondir les arêtes des pièces de bois.

Tous les fers de rabots s'affilent de la même manière et avec le même soin que ceux des ciseaux et des gouges.

Fig. 17. *Guimbarde*. Cet outil est représenté par une projection verticale et une projection horizontale.

a, Fût en bois dur. Il est ordinairement en chêne.

b, Fer. Le tranchant n'a qu'un biseau comme celui d'un bédane; ce fer traverse verticalement le fût en passant par une mortaise, dans laquelle il se trouve contenu très-juste dans le sens de son épaisseur, *m n*; dans l'autre sens, la mortaise lui laisse un peu de jeu.

c, Coin en bois dur, traversant le fût dans le milieu de son épaisseur, en passant par une mortaise qui pénètre un peu dans la première. Ce coin sert à maintenir le fer vertical et immobile, pour qu'il conserve la saillie qu'on lui a donnée. Quelquefois on introduit parallèlement au coin une bande de métal qui sert de coussinet, pour empêcher les arêtes du fer de déchirer le coin et opérer une plus forte pression.

Pour augmenter la saillie du tranchant, on frappe avec un marteau sur la tête du fer, et pour la diminuer, on frappe en sens contraire sous le crochet *q* qui le termine.

La guimbarde sert à égaliser le fond des refouillements qui doivent être parallèles aux faces planes dans lesquelles on les a creusés.

Pour faire agir la guimbarde, après qu'on a donné au fer une saillie égale à la profondeur que doit avoir le refouillement, et l'avoir fixé, on place l'outil au-dessus du refouillement en y faisant pénétrer le tranchant; on conduit alors le fût des deux mains pour lui donner un mouvement de va-et-vient, dans le sens le plus propre à couper le bois, et l'on continue ce travail jusqu'à ce que le dessus du fût soit en contact parfait avec la surface dans laquelle le refouillement est entaillé.

La face antérieure du fer qui contient le tranchant est placée verticale-

ment, afin d'atteindre dans les arêtes creuses formées par les joues et le fond des refouillements.

Le fer d'une guimbarde doit être un prisme très-exact, afin qu'il soit retenu sans vascillation dans sa mortaise et qu'il puisse y glisser avec un frottement égal. Quelquefois on le fait carré, pour qu'on puisse tourner son tranchant parallèlement au petit côté du fût, comme il est représenté fig. 18, ou parallèlement au grand côté, ce qui a l'avantage de pouvoir disposer l'outil pour agir dans toutes sortes de sens.

Le fer de la guimbarde s'affile comme celui d'un bédane.

De l'aiguisement des outils.

Tous les outils qui servent à couper ou tailler sont garnis d'acier à leurs parties tranchantes; quelquefois même la totalité de l'outil est en acier, mais c'est toujours la seule partie du tranchant qui est trempée.

La trempe est une opération qui ne peut s'appliquer qu'à l'acier, et qui a pour objet de le durcir. Pour tremper un outil, on fait rougir au feu la partie qui porte le tranchant, et on la plonge toute rouge dans l'eau ou dans l'huile. Si la trempe est trop molle, ce qui provient de ce qu'on n'a pas assez chauffé la pièce, le tranchant plie et s'émousse; si elle est trop sèche, ce qui provient de ce qu'on a trop chauffé, l'acier s'égrène et l'outil est bientôt ébréché. Dans le premier cas, il faut recommencer l'opération en chauffant davantage, et en plongeant la pièce plus rapidement; dans le second cas, il faut faire revenir la pièce en la chauffant sur des charbons ardents, jusqu'à ce qu'elle prenne une belle couleur bleue. Au-delà de ce point, la trempe est presque détruite.

Souvent tel outil est rejeté comme mauvais, qui serait excellent si sa trempe était bonne. Avec un peu d'adresse et d'habitude, un charpentier peut parvenir à donner à ses outils la trempe qui leur convient, lorsqu'ils ne l'ont pas eue dès leur fabrication, et les rendre parfaits.

Les taillandiers livrent les outils qu'ils confectionnent en état de couper immédiatement le bois; mais les outils de fabrique sont vendus par les marchands sans qu'ils soient affilés; leur biseau est seulement préparé; il est donc indispensable qu'un ouvrier charpentier sache aiguiser et affiler ses outils, ou, comme quelques-uns disent, les *affûter*, expression qui doit plutôt s'entendre de l'opération par laquelle on ajuste les outils aux fûts

en bois, qui servent à les maintenir dans la position la plus propre pour les faire couper, que de celle par laquelle on les rend coupants.

Pour aiguiser le tranchant d'un outil, il faut frotter son biseau sur une pierre dont le grain ait assez de dureté pour user l'acier trempé.

Pour l'aiguisement grossier par lequel on prépare un tranchant d'outil, on se sert d'une pierre de grès qui est ordinairement taillée en meule (1).

Lorsqu'on veut se servir d'une meule en la faisant tourner, elle doit être montée sur un axe en fer; la rotation est imprimée à la meule au moyen d'une poulie fixée sur le même axe, et qui reçoit, par l'intermédiaire d'une corde sans fin, le mouvement d'une grande roue mise à son tour en mouvement par une manivelle à pédale. La meule, la poulie et la roue sont montées dans un bâtis en bois, et le tout est appelé *gagne-petit*, en tout pareil à celui dont se servent les rémouleurs ambulants. Nous n'en donnons pas le dessin parce que, quoique le *gagne-petit* soit ce qu'il y a de plus commode pour aiguiser, il est peu en usage à cause de son prix parmi les charpentiers. On se contente de monter la meule, et son axe en fer qui porte une manivelle, dans les montants d'un fort châssis en bois, appuyé contre un mur ou quelque autre objet. Un apprenti tourne la manivelle; un vase placé au-dessus de la meule verse l'eau goutte à goutte pour aider l'aiguisement.

On se sert aussi de la meule posée à plat, horizontalement et immobile, élevée à la portée des mains, et que l'on mouille par un moyen quelconque.

L'ouvrier, en promenant le biseau de l'outil qu'il veut aiguiser sur le plat de la meule, parvient à lui donner le fil, c'est-à-dire à le rendre tranchant. Il faut néanmoins user de quelque adresse, soit qu'on se serve de la meule tournante, soit qu'on aiguiser sur la meule à plat, pour conserver au grès, dans le premier cas, la forme cylindrique, et dans le second, la forme plane, parce qu'en se creusant il donnerait aux tranchants des outils une forme trop courbée telle que leurs entailles sur le bois formeraient des sillons creux qu'on ne pourrait point effacer.

Il faut que les outils soient promenés à toutes les places, de façon qu'en s'usant ils usent la meule également et régulièrement. C'est par un petit tour de main, qui s'acquiert par l'habitude, qu'on donne à certains tran-

(1) Les meilleurs grès à meules sont ceux de Marcilly et de Celles près Langrès, et ceux de Passavant près Vauvilliers.

chants la légère courbure qui leur est nécessaire pour bien couper. En aiguisant un outil, il faut le tenir de façon que son biseau s'applique dans toute son étendue sur la pierre, pour qu'il se conserve suivant l'angle qu'il doit faire avec le plan de l'outil. Cet angle est d'environ 30 degrés. Il doit cependant varier un peu, selon la dureté du bois que l'outil doit travailler. Il est un peu moindre pour les bois très-tendres, et un peu plus grand pour les bois très-durs.

On ne doit aiguiser un outil à un seul biseau que du côté de ce biseau, afin de conserver le fil du tranchant vif dans le plan du plat de l'outil, sans quoi cet outil ne serait plus propre à planer, parce que sa lame manquerait de point d'appui; c'est pourquoi il est plus difficile de se servir des outils à deux biseaux, tels que haches et piochons, que de ceux qui n'en ont qu'un.

Les outils à deux biseaux doivent être aiguïsés des deux côtés sur chaque biseau, et autant d'un côté que de l'autre; leurs biseaux doivent être plus allongés ou plus larges que les biseaux simples, pour que le tranchant soit aussi fin et que les deux biseaux fassent entre eux le même angle de 30 degrés et des angles égaux avec le plan moyen de l'outil.

Lorsqu'un outil est aiguisé sur la meule tournante ou fixe, son tranchant est grossier et composé d'une multitude de petites dents formées par les grains du grès, qui ont strié la surface du biseau. Si on le laissait ainsi, la coupure qu'il produirait sur le bois ne serait pas unie et polie. Souvent le tranchant est bordé d'une petite frange ou d'une petite lame d'acier très-mince et très-étroite, à peine adhérente, appelée *bavure* ou *morfil*; ce morfil, en se repliant sur la tranchant, l'empêcherait de couper et l'émousserait si on ne l'enlevait pas. Pour enlever les stries grossières faites par le grès, faire tomber le morfil et rendre le tranchant plus vif, on passe l'outil sur la pierre fine (1). Cette pierre est beaucoup plus petite et n'a point la forme d'une meule; son grain est très-fin et sa surface est plane. On promène le biseau dessus en le faisant porter bien à plat, ce dont on s'assure en le posant d'abord sur son talon, et en

(1) Cette pierre est aussi appelée pierre du Levant et pierre à l'huile; c'est un calcaire excessivement compacte, elle vient des environs de Smyrne. On se sert aussi du *schiste coticule*, vulgairement appelé *pierre à rasoirs*, qui vient de Namur, sa carrière est à Salm-Château près Liège; on se sert enfin de la pierre anglaise en éclats, de Jersey; les deux premières sont préférables. A défaut de ces pierres, on peut se servir de quelques ardoises.

le rapprochant de la pierre jusqu'à ce que l'huile reflue au bord du tranchant.

On peut aussi passer le plat de l'outil sur la pierre à l'huile pour abattre complètement le morfil; mais il faut se garder de soulever l'outil; il faut, au contraire, le faire porter partout, afin de ne pas écarter le tranchant de son plan. On peut aussi faire tomber le morfil en passant une fois ou deux le tranchant de l'outil perpendiculairement sur un morceau de bois dur ou de corne, comme on ferait avec une scie; ce qui ne dispense pas, quand le morfil est tombé, de passer l'outil sur la pierre fine pour donner un tranchant plus égal et plus fin, et qui est plus vif si on mouille la pierre avec de l'eau, et mieux si on la graisse avec de l'huile d'olive.

Une gouge, dont le biseau est intérieur, comme celui de la fig. 24, pl. I, s'affile au moyen d'un morceau de grès assez mince pour qu'on puisse l'arrondir cylindriquement sur l'un de ses bords, suivant la courbure du tranchant.

On achève de donner un bon tranchant avec un fragment de pierre à l'huile également arrondi.

La gouge dont le biseau est extérieur, comme celle de la fig. 25, s'affile sur le même grès et la même pierre à l'huile que les autres outils; on donne à son biseau la forme arrondie, en tournant l'outil pendant qu'on l'affile; une pierre à l'huile arrondie, comme celle mentionnée ci-dessus, sert à abattre le morfil dans l'intérieur, en ayant soin de la mouvoir parallèlement à l'axe de la cannelure pour ne pas renverser le tranchant en dehors.

On ne saurait trop recommander d'entretenir les outils parfaitement affilés; on trouve, dans ce soin, plus de propreté et de justesse dans l'exécution des surfaces et des assemblages; il en résulte aussi économie de temps et de fatigue dans le travail.

Manière de couper le bois.

Les outils tranchants ne coupent le bois qu'à l'aide d'une percussion. Les cognées, les haches, les doloires, les herminettes produisent elles-mêmes la percussion; mais elle résulte de l'action du maillet ou du marteau, pour les outils du genre ciseau, excepté pour la besaiguë, qui agit par le mouvement que les mains lui impriment.

On coupe le bois par entailles, qui produisent des copeaux épais, ou

éclats, ou par aplanissement des surfaces, en détachant des copeaux d'autant plus minces que le travail approche de sa perfection. Dans le premier cas, la direction du tranchant doit croiser les fibres sous de très-grands angles qui peuvent même être droits; la lame de l'outil peut faire aussi un grand angle avec la surface qu'on veut entailler, mais cet angle ne doit jamais être droit, car alors les fibres seraient refoalées ou rompues, et ne seraient pas coupées. Pour planer, les haches et ciseaux doivent raser les surfaces de leur plat et ne s'écarter du parallélisme, avec les plans qu'on veut former, que juste de ce qu'il faut pour faire mordre le tranchant et enlever les aspérités du bois. La ligne du tranchant ne doit se présenter ni perpendiculairement ni parallèlement à la direction des fibres du bois; elle doit la croiser sous un petit angle, autrement on risquerait d'enlever des éclisses ou de déchirer le bois au lieu de le couper. Il est même indispensable, pour que l'incision soit nette, d'imprimer au tranchant un petit mouvement de glissement dans sa propre direction, pour le faire couper, comme nous l'avons déjà fait remarquer au sujet des rabots, par la raison que le tranchant d'un outil est composé d'une infinité de petites dents qui agissent comme celles d'une scie.

Le bois se coupe perpendiculairement à son fil, avec le bédâne emmanché en bois, ou avec celui de la besaiguë; c'est ce qu'on appelle *coupe à bois debout*; mais l'outil doit être parfaitement affilé, et pour faire une coupe nette et lisse, il ne faut prendre que très-peu de bois à la fois; autrement, au lieu de le couper on l'arrache, et l'on ne peut obtenir de surfaces unies.

Le ciseau emmanché et celui de la besaiguë peuvent également couper le bois perpendiculairement à son fil, mais on ne les emploie, dans ce cas, que pour donner le dernier poli aux surfaces qui présentent le bois debout, et l'on doit enlever encore moins de bois à la fois qu'avec les bédânes.

Les outils tranchants servent aussi à fendre le bois, suivant la direction de ses fibres; mais alors ils ne fonctionnent plus que comme des coins; et une fois que le tranchant a un peu pénétré la pièce à fendre, il n'agit plus, les surfaces des lames seules font effort pour opérer la fente du bois.

5° Outils à percer.

Pl. I, fig. 30. *Tarière*. La mèche *a b* est en acier; elle est creusée en gouge qui coupe par le bont, au moyen d'une cuiller *m n o* formée en spirale, par une échancrure dont le bord *o p* a moins de saillie que le tran-

chant *m n o*, son biseau est intérieur. La queue *b c* de cette mèche est en fer; elle est carrée, ses arêtes sont abattues chacune par un petit pan; elle est terminée par un tenon à vives arêtes qui traverse une mortaise percée dans le milieu de la longueur du manche en bois dur *d e*, dont la projection horizontale, placée dans le haut de la planche, le présente vu par-dessus.

Pour faire un trou de tarière, on fait tourner la mèche sur son axe, par demi-tour, en appliquant une main à chaque extrémité du manche, qui sert de double levier pour vaincre la résistance du bois, et donne le moyen de maintenir la mèche dans la direction du trou qu'on veut percer. Pour que le taillant puisse mordre dans le bois, on est obligé d'amorcer le trou, c'est-à-dire de le commencer avec la gouge, fig. 25, exactement dans la place où il doit être fait. Le plus ordinairement, les trous de tarière se percent verticalement, et l'on place la pièce à percer sur des chantiers, dans la position qui convient, pour que l'ouvrier, étant courbé pour atteindre le manche de la tarière, puisse le faire agir, et juger de la direction de la mèche pour la maintenir en tournant dans la position verticale.

On doit avoir des tarières de plusieurs grosseurs, suivant les diamètres des trous qu'on peut avoir à percer. Les grosses tarières sont employées pour commencer à vider les mortaises; les plus petites servent à faire les trous pour les chevilles: elles se nomment *lacetts* ou *lacerets*. On a aussi des tarières *boulonnnières* de différentes grosseurs, répondant aux diamètres des boulons qu'on est dans le cas d'employer. Un même manche peut servir pour plusieurs tarières, qui diffèrent peu en grosseur.

Quand on a fait faire plusieurs tours à la mèche de la tarière, on la retire de son trou pour rejeter les copeaux qui se logent dans son canal, parce qu'ils s'y amasseraient en trop grande quantité, quelques-uns pourraient se glisser entre la mèche et le bois, et occasionner un frottement qui gênerait pour mouvoir l'outil ou pour le sortir, et qui pourrait le dévier de sa direction, ce qui aurait de très-graves inconvénients.

Fig. 31. *Mèche à trépan*. Elle se place sur un manche pareil à celui de la tarière, fig. 30; elle a deux tranchants latéraux. Cette mèche sert à forer de très-grands trous. On n'a pas besoin d'amorcer sa place: la vis qui forme le bout du trépan suffit pour la faire mordre et pour la guider dans le bois; mais il faut opérer une assez forte pression pour faire couper les ailes. Au-dessous de la figure principale, qui est une projection verticale, est une coupe par un plan horizontal, à la hauteur de la ligne *x y*, qui fait voir la forme de la lame du trépan.

Fig. 32. *Tarière anglaise*. La mèche *a b* est une spirale double, formée par l'épaisseur d'une lame d'acier tordue; à l'extrémité *a*, chaque spirale est terminée par deux taillants en ligne droite et angle droit, l'un répondant à la surface rampante et la terminant, l'autre se trouvant dans la surface cylindrique de la vis, ayant une hauteur égale à l'épaisseur ou filet de la spirale. Une vis conique *c* dispense d'amorcer le trou qu'on veut faire. La queue *b d* est pareille à celle de la tarière fig. 30, cette mèche s'adapte à un manche de même forme, et se manœuvre de la même manière; au-dessous de sa projection verticale se trouve une projection horizontale qui présente le bout, et qui fait voir les deux tranchants horizontaux perpendiculaires à l'axe. La tarière anglaise a l'avantage de percer des trous parfaitement cylindriques; on n'a pas besoin de la tirer du trou pour la débarrasser des copeaux; ils se dégagent en montant dans les deux canaux que forme la spirale, par l'effet de la rotation et de la formation de nouveaux copeaux qui poussent ceux qui les précèdent.

On doit être pourvu de mèches de cette forme de plusieurs grosseurs, pour satisfaire aux besoins qu'on peut avoir de trous de différents diamètres.

Fig. 33. *Vilbrequin*. C'est une manivelle coudée, qui sert à faire tourner des mèches pour faire des trous. Sa partie *a b c* est d'un seul morceau de bois dur; elle est traversée en *a* par une cheville à tête *f*, qui sert d'axe de rotation; le bout de cette cheville est collé ou retenu par une goupille dans un bouton *d e* formé sur le tour, de façon que cette espèce de poignée ne peut se séparer de la manivelle. La partie *c* est percée d'un trou carré qui reçoit la queue, également carrée, du fût *g*, qui porte la mèche *h*.

La manivelle de cet outil est quelquefois en fer; ses dimensions sont alors beaucoup moins fortes, et les mèches se placent, sans fût de bois, dans le carré de l'extrémité *c*.

Fig. 34. *Mèche de vilbrequin* montée sur son fût en bois dur. Cette mèche *h* est exactement faite comme celle de la tarière fig. 30; *g* est le fût dans lequel la mèche est fixée entrant à force dans une mortaise creusée à fil de bois; elle y est serrée, au besoin, par des coins en bois et de la colle forte; *e* est la queue du fût qui entre dans le carré du vilbrequin.

Fig. 35. Autre mèche de vilbrequin. Son extrémité percante *a* est formée en cuiller, l'autre bout est terminé par une soie plate ou carrée, par laquelle on la monte dans un fût de bois, comme ceux des fig. 33

et 34, qui sert à la fixer au vilebrequin lorsque sa manivelle est en bois.

Au-dessous de la projection de face de cette mèche se trouve une coupe horizontale, suivant la ligne *v z*.

Fig. 36. *Mèche dite anglaise*. Son extrémité est terminée par une pointe carrée *a* qui sert de guide; un côté *b* de la mèche est une sorte de couteau vertical qui coupe le bois circulairement, lorsqu'on agit en tournant la manivelle du vilebrequin; l'autre côté *d* est plié en avant et forme une espèce de rabot horizontal qui enlève, aussi en tournant, des copeaux circulaires presque continus, après que le bois a été coupé par le couteau *a*, qui doit être un peu plus long que le rabot *d*. Il faut aussi que la longueur du tranchant du rabot n'excède pas le rayon du cercle décrit par le tranchant du couteau vertical; c'est de l'exactitude avec laquelle la mèche anglaise remplit ces conditions que dépend la netteté du trou que l'on perce avec elle.

On monte cette mèche également dans un fût en bois par sa soie *g*, comme celle de la fig. 34. Au-dessous de la projection principale se trouve une projection horizontale qui présente la mèche vue par le bout, avec sa pointe et ses deux tranchants.

On fait aussi des mèches de vilebrequin de la forme de la tarière anglaise, fig. 32.

La manivelle du vilebrequin, son bouton, la cheville, la mortaise carrée, le tenon du fût de la mèche et la mèche elle-même, doivent être taillés et emmanchés avec une telle précision que, lorsque l'outil fonctionne, toutes ces parties tournent sur le même axe *d e*, fig. 33; condition indispensable pour que les trous soient droits, ronds et de même diamètre, au commencement comme au fond.

On se sert du vilebrequin en appliquant le bout de la mèche sur l'emplacement du trou qu'on veut percer. Pour les mèches, fig. 34 et 35, surtout quand elles sont un peu grosses, il faut amorcer le trou avec une gouge. La mèche anglaise, fig. 36, n'a pas besoin qu'on amorce le trou qu'elle doit faire : sa pointe se place avec précision sur le centre du trou qu'on veut percer, elle pénètre dans le bois sans qu'il soit nécessaire de lui préparer sa route. On tient le bouton du vilebrequin de la main gauche, quelquefois on l'appuie contre la poitrine, on tourne la manivelle en appliquant la main droite à la poignée *b*, sans la serrer, et l'on imprime ainsi aux mèches le mouvement de rotation sur leurs axes qui les fait pénétrer dans le bois.

Fig. 37. *Vrille*. Outil qui sert à percer les plus petits trous destinés à recevoir des clous ou des pointes.

Cet outil, dont l'usage est fort rare dans les grands travaux de charpenterie, est, au contraire, très-fréquemment employé dans les légers ouvrages.

Il est représenté par deux projections.

La mèche *a* de la vrille est en acier et en forme de gouge; elle est terminée par une pointe en vis conique, qui sert de guide et fait mordre l'outil.

Le manche *b* a la forme d'une olive, il est en buis; la soie carrée de la mèche le traverse et y est rivée.

On tourne le manche d'une seule main; dès que la vis est engagée dans le bois, elle y tient suffisamment pour que l'on puisse lâcher le manche et le reprendre à chaque demi-tour qu'on lui a fait faire. On n'a besoin d'appuyer qu'en commençant le trou, pour donner à la vrille une bonne direction; une fois que la vis a pénétré dans le bois, elle fait avancer la partie de la mèche qui fonctionne comme une tarière. Il y a des vrilles de toutes les grosseurs.

Fig. 38. *Vrille en tire-bouchon*. Cette vrille est projetée et fonctionne comme la précédente. On fait aussi des vrilles en spirales, comme les mèches de tarière, fig. 32, qui font des trous très-réguliers.

6° Outils à scier.

En général, les scies qui servent au travail du bois sont composées d'une lame d'acier, mince, droite, de largeur égale d'un bout à l'autre et d'une épaisseur parfaitement uniforme. Cette lame est ordinairement montée dans un fût de bois qui a une forme, appropriée à l'usage qu'on doit faire de l'outil.

Une lame de scie à bois est taillée d'un côté pour former un grand nombre de dents aiguës et égales qui lui donnent la propriété de couper le bois. Pour faire agir une scie, on lui imprime un mouvement de va-et-vient, dans le sens de sa longueur, en lui conservant la direction qu'on lui a primitivement donnée. Chaque dent agit comme un bédane fort étroit; mais, en raclant le bois, elle suit et approfondit le sillon que celle qui la précède a ouvert. Ainsi, la continuité de l'action des dents enlève le bois à la même place de plus en plus profondément, et la scie pénètre jusqu'au point que le travail exige; elle peut même traverser entièrement toute l'épaisseur du bois, et partager en deux parties la pièce sur laquelle on la fait agir.

La section ou incision que fait une scie dans une pièce de bois se nomme un *trait de scie*.

Quoique la lame d'une scie soit d'une épaisseur parfaitement uniforme, le mouvement de va-et-vient deviendrait extrêmement difficile dès qu'elle aurait pénétré dans le bois, à cause du frottement augmenté par la dilatation que détermine la chaleur qu'il développe, si l'on ne donnait aux dents la faculté d'ouvrir un trait d'une largeur un peu plus grande que l'épaisseur de la lame. Pour cela, on les incline alternativement, l'une à droite et l'autre à gauche, en les pliant un peu; c'est ce qu'on appelle donner de la *voie* à une scie.

La quantité dont on dévie les dents doit toujours être moindre que l'épaisseur de la lame; on conçoit que, si cette déviation était plus grande, la série des dents inclinées à droite et la série des dents inclinées à gauche ouvriraient chacune un sillon sur la surface du bois; ces deux sillons laisseraient entre eux un filet de bois qui deviendrait, en atteignant le fond des intervalles que séparent les dents, un obstacle au travail de la scie.

La quantité dont on dévie les dents d'une scie pour leur donner de la voie dépend donc de l'épaisseur de la lame et de la dimension des dents, qui est subordonnée à la dureté du bois auquel l'action de la scie doit être appliquée.

Les copeaux enlevés par les dents d'une scie se brisent en une poussière plus ou moins grossière, suivant l'espèce de bois scié. On nomme cette poussière *sciure de bois*. Pendant l'action de la scie, les copeaux se logent dans les intervalles des dents; ils sont entraînés et rejetés hors du trait de scie dès que les dents qui les ont enlevés ont dépassé la largeur de la pièce de bois. La grandeur des dents doit donc être proportionnée à la capacité des intervalles qui doivent contenir la sciure et la porter hors du trait.

Lorsque le bois est dur, les dents ne peuvent enlever que peu de bois, leurs espaces n'ont pas besoin de présenter une grande capacité. On peut alors les multiplier en les rapprochant, et en les faisant plus petites, elles acquièrent plus de force, et elles produisent, en somme, un travail plus considérable que si on leur laissait un grand écartement; et comme, vu la dureté du bois, elles agissent avec plus de lenteur et plus de précision, leur voie peut être moins considérable.

Si les dents des scies destinées à des bois tendres étaient trop petites,

leurs intervalles seraient bientôt engorgés et la scie ne pourrait plus marcher.

Il est essentiel que toutes les dents d'une scie aient une même longueur et une même voie. On conçoit que, s'il en était autrement, les plus longues dents agiraient seules, celles intermédiaires n'enlèveraient point de bois, et avec une même peine de la part des ouvriers, le travail avancerait moins. Les longues dents de la scie seraient bientôt émoussées, et lorsqu'elles ne couperaient plus, elles s'opposeraient encore au travail des autres, et exigeraient un affilage plus fréquent.

Les inconvénients ne seraient pas moins graves si les dents n'avaient pas la même voie; l'usage de la scie serait excessivement pénible, et les dents les plus inclinées seraient infailliblement rompues, parce que, pendant le mouvement imprimé à la scie, elles n'auraient pas leur passage dans le trait frayé par celles qui les auraient précédées, et elles trouveraient un obstacle dont la résistance serait supérieure à la force dont elles sont capables.

Les dents des scies sont affilées avec des limes dont la trempe est plus dure que celle des lames; il faut un soin particulier pour conserver aux dents les conditions dont nous venons de parler, concernant l'égalité de la taille, leur alignement, la forme et la voie qu'il convient de leur donner. Pour que les dents soient égales, de même forme et également espacées, on les taille en fabrique à la machine.

Pl. II, fig. 11. *Scie de charpentier.* Cette scie est représentée par deux projections; *a b*, lame; le côté opposé à celui dans lequel les dents sont taillées se nomme le dos; *ac*, *bd*, montants en bois dans lesquels la lame est fixée les dents en dehors. La lame entre dans des fentes qu'elle remplit exactement pour qu'elle ne vacille point. Elle y est retenue à chaque bout par un clou rivé qui la traverse ainsi que le bois.

Les extrémités *c*, *d*, des montants sont taillées en crossettes. Leurs arêtes sont un peu arrondies pour ne pas incommoder les mains.

o e, Traverse qui fixe l'écartement des montants et s'y ajuste par chaque bout, à tenons très-courts et mortaises, avec embrèvements. Cette traverse est parallèle à la lame de la scie.

c d, Corde qui réunit les montants et s'y trouve retenue par les crossettes. Cette corde est tournée trois ou quatre fois d'un montant à l'autre; les bouts sont passés, sans faire aucun nœud, dans ses brins; ils s'y trouvent solidement retenus par la torsion.

g, *Clef* ou *garrot*. C'est une petite pièce de bois qui est passée dans l'intervalle que laissent les brins de corde avant qu'ils soient tordus. On

les tord, au moyen de cette clef, et c'est la torsion qui, en rapprochant les crossettes *c* et *d*, écarte les extrémités *a*, *b*, des montants où la lame est attachée et produit sa tension. Lorsque la corde est suffisamment tordue et que la lame est complètement raide, on insinue le petit bout de la clef *f g* dans la mortaise pratiquée sur le dessus de la traverse *o e*. Pour cela, on pousse la clef entre les brins de corde tordus jusqu'à ce qu'elle soit de la longueur convenable pour atteindre le fond de la mortaise et y produire une petite pression; puis, en tirant avec force sur la corde, on l'écarte suffisamment pour que la queue *f* de la clef passe par-dessus la traverse, afin d'entrer dans la mortaise, où la raideur de la corde la maintient dès qu'elle y est entrée.

La tension d'une lame de scie est indispensable pour qu'elle puisse agir efficacement.

Cette scie, comme on peut le voir au moyen de l'échelle, a environ 1^m,13 de longueur de lame; quelquefois on lui donne jusqu'à 1^m,30. Les charpentiers n'en font usage qu'avec l'aide d'un compagnon. Elle est employée pour couper les pièces de bois à leur longueur, et pour ébaucher les tenons et les entailles d'assemblage. L'ouvrier charpentier et le compagnon qu'il appelle à son aide se placent de chaque côté de la pièce sur laquelle ils doivent agir, chacun l'ayant à sa gauche. Cette pièce étant élevée sur des chantiers, ils posent la lame de la scie sur l'emplacement et suivant la direction du tracé établi pour recevoir le trait de scie, le plan passant par le milieu de l'épaisseur de la lame et de tout le fût de la scie, étant bien vertical, le dos de la lame de niveau, et les mains étant appliquées, pour chacun, l'une au-dessus de l'autre, au montant qui se trouve de son côté.

Les deux charpentiers impriment à la scie un mouvement de va-et-vient bien régulier en la tirant l'un après l'autre, chacun ne faisant qu'un léger effort pour aider ce mouvement, lorsqu'elle est tirée par l'autre compagnon et ne la laissant mordre sur le bois que ce qu'il faut, sans l'abandonner entièrement à son propre poids.

Quelques compagnons, en faisant mouvoir la scie, lui donnent un mouvement de balancement dans le sens de sa longueur; il en résulte, dans le fond du trait de scie, une courbure assez sensible qui nuit au travail, en ce que les dents ne coupent plus également en allant et venant, parce qu'elles n'atteignent le bois qu'en s'abaissant du côté de celui qui tire la scie en pesant dessus.

Lorsque la pièce de bois à scier n'a pas un poids suffisant pour rester immobile pendant l'action de la scie, les deux charpentiers posent chacun

un pied sur l'arête supérieure qui se trouve de son côté; et tous deux agissent ainsi en arc-boutant la pièce, et la tiennent dans une immobilité parfaite.

Une pièce de bois que l'on veut scier transversalement doit être établie de niveau sur un nombre de chantiers suffisant pour que les parties séparées par la scie restent à leur place; autrement, si la pièce fléchissait dans l'endroit où la scie est appliquée, lorsque le trait a atteint une grande partie de sa profondeur, les bords supérieurs du trait, en se rapprochant, serreraient tellement la lame de la scie, qu'il ne serait pas possible de la faire agir. Si, au contraire, une des extrémités fléchissait lorsque le trait de scie approche de sa fin, la pièce pourrait se rompre avant que la scie l'eût traversée. Il y aurait alors déchirement dans la portion du bois qui aurait dû être scié, et par conséquent vice dans le travail.

Lorsque la scie ne doit pas traverser entièrement l'épaisseur d'une pièce de bois, il faut avoir soin de tourner cette pièce de telle sorte que la ligne qui limite la profondeur à laquelle le trait de scie doit s'arrêter soit bien horizontale, et que les points qui marquent cette profondeur soient bien visibles, afin que les ouvriers ne les dépassent point.

Fig. 12. Dents de la scie de charpentier sur une échelle double. Elles sont isocèles, c'est-à-dire que leurs deux tailles sont de même inclinaison par rapport à la longueur de la lame. Ainsi, par exemple, pour une dent *a*, les deux tailles placées sur les directions *a b*, *a c* font, avec le dos *d e*, des angles *a b d*, *a c e*, égaux. Cette disposition est indispensable pour une scie qui doit agir également dans les deux sens de son mouvement de va-et-vient. Ces dents ont de 10 à 13 millimètres de longueur, et à peu près autant de distance entre leurs pointes; l'angle qu'elles présentent peut varier entre 60 et 30 degrés. Au-delà de 60 degrés, elles ne coupent pas suffisamment, et, sous un angle moindre que 30 degrés, elles n'ont pas assez de solidité et s'émeussent très-prompement.

Le charpentier fait quelquefois usage de la scie du menuisier, qui est construite absolument de la même manière que la scie du charpentier, mais qui est plus petite dans toutes ses parties, la lame n'ayant qu'environ 0^m,65. Le charpentier, comme le menuisier, la font mouvoir seuls, sans l'aide d'un compagnon, et ils lui donnent le mouvement de va-et-vient de la main droite, appliquée à l'un des montants, entre la lame et la traverse, tandis que l'autre main est posée sur la pièce de bois, pour assurer sa stabilité et donner en même temps un point d'appui au corps, afin de conduire la scie avec plus de justesse.

Pendant que l'ouvrier fait agir la scie, il a soin de la maintenir exactement dans le plan de la coupe qu'il veut faire, par la position de son poignet, ce qui ne présente aucune difficulté, vu la légèreté de cette scie.

La scie de menuisier n'étant mue que par une main, on ne peut la faire couper qu'en poussant; il n'est par conséquent point nécessaire que les dents coupent dans les deux sens du mouvement, et l'on profite de cette circonstance pour augmenter la puissance du tranchant en inclinant leurs tailles, de sorte que, dans le mouvement de va-et-vient, elles coupent lorsqu'on pousse la scie, et elles ne coupent point lorsqu'on la retire.

Fig. 13. Dents d'une scie de menuisier dans la même proportion que la fig. 12. Les deux tailles sont inclinées du même côté, par rapport à la longueur de la lame. Ainsi la taille antérieure $a b$ d'une dent a fait, avec la ligne $d c$, un angle $a b d$ un peu plus petit qu'un angle droit, tandis que la taille postérieure, dirigée suivant $a c$, fait un angle d'environ 45 degrés; de façon que l'angle $b a c$ de la dent est un peu plus petit que 45 degrés. Il est entendu que, dans cette disposition, le bout d de la lame serait attaché au montant $a c$, fig. 11, et l'autre e , au montant $b d$, auquel la main de l'ouvrier serait appliquée.

La scie que nous venons de décrire ne peut faire qu'une coupe plane, et dont la profondeur est limitée par la distance de la lame à la traverse. Il peut cependant arriver que l'on ait besoin de contourner le trait de scie, suivant une certaine courbure, pour former des parties cintrées concaves ou convexes, ou que la scie ait à parcourir un trajet plus grand que la distance de la lame à la traverse; on a recours à des scies à chantourner montées d'une autre manière pour satisfaire à ces différents besoins.

Fig. 14. Détails relatifs à la scie à chantourner. Cette scie est contenue dans une monture semblable à celle de la scie de menuisier, qui est elle-même construite comme celle de la fig. 12, avec cette seule différence que la lame à chantourner n'est pas attachée immédiatement aux montants $a c$, $b d$; elle est fixée, par deux rivures à chaque bout, dans la fente d'une cheville cylindrique qui traverse chaque montant et peut y tourner librement. On s'est borné, dans la fig. 14, à présenter les parties inférieures des montants $a c$, $b d$, pour faire voir comment la lame et les chevilles sont disposées. Du côté a , la cheville porte une tête qui s'appuie sur la face extérieure du montant $a c$; du côté b , la cheville se termine par un manche h , dont l'embase porte aussi contre la face extérieure du montant $b d$. Le manche de cette cheville sert à faire tourner la lame, la che-

ville *a* permet à l'autre bout de tourner aussi pour que la lame conserve sa forme plane. On place de préférence dans la cheville *b* le bout de la scie qui répond aux tailles postérieures des dents; son manche sert alors à faire distinguer promptement par quel montant la scie doit être tenue, pour que ses dents taillées, comme dans la fig. 13, puissent agir en poussant.

Pour que les montants ne soient point affaiblis par les trous qu'on y pratique pour le passage des chevilles, on y fait des renflements arrondis cylindriquement, et l'on élégit au-dessus les montants par de petits chanfreins sur les arêtes.

Lorsqu'on se sert de la scie à chantourner pour scier suivant une ligne courbe, on incline la lame par rapport à la monture, afin que cette monture reste libre sur le côté en dehors du bois.

La lame de la scie à chantourner doit être étroite et avoir la plus large voie qu'il soit possible de lui donner, afin que le trait de scie, étant fort ouvert, la lame puisse tourner pour suivre telle courbure que le travail exige.

On voit que la disposition de cette scie donne le moyen de faire une levée de toute la longueur d'une pièce de bois, pourvu que l'épaisseur de cette levée soit moindre que la distance de la lame de la scie à la traverse. Lorsqu'il s'agit de faire une levée, on tourne la lame de façon que son plan soit perpendiculaire à celui de sa monture.

Fig. 15. *Passe-partout*. Cette scie est représentée par deux projections, l'une verticale, l'autre horizontale. Elle sert à scier les grosses pièces que la scie ordinaire ne peut traverser; elle sert aussi, à cause de la rapidité de son travail, pour le débit des gros bois à la forêt. Elle est composée d'une lame *b d* un peu plus épaisse que celle des autres scies, son dos est uni et droit; le côté sur lequel les dents sont taillées est arrondi en arc de cercle *b a d*. Cette lame porte, à chaque extrémité, une douille qui reçoit un manche cylindrique, arrondi par le bout supérieur, et qui pose par une embase sur le bord de la douille qu'il traverse. Les axes de ces manches *b m*, *d n*, sont parallèles et compris dans le plan du milieu de l'épaisseur de la lame. La scie *passé-partout* est mue par deux hommes qui appliquent chacun leurs deux mains à l'un des manches. Ils sont placés de façon que la pièce de bois à scier, portée sur des chantiers, est entre eux; ils ne lui font point face complètement, ils sont placés, au contraire, un peu de côté, ayant le flanc gauche le plus près de la pièce, le pied gauche un peu avancé aussi vers la pièce, afin de pouvoir agir de toute l'étendue de leurs bras, et que la scie puisse passer devant eux. Ils se tiennent droits ou penchés en avant,

suivant la hauteur à laquelle la scie doit agir. Ils imprimant le mouvement de va-et-vient à la lame, en maintenant ses faces, ainsi que ses manches, dans une position verticale. La forme arrondie de sa partie garnie de dents fait qu'il est assez difficile de ne pas lui donner un petit mouvement de balancement dans la direction de sa longueur; mais il faut tâcher de la maintenir le plus possible horizontale.

La forme en arc de cercle que l'on donne au tranchant de cette scie n'est pas nécessaire pour qu'elle fasse plus de travail; elle est principalement motivée par cette considération que, dans le mouvement de va-et-vient, les dents du milieu de la scie travaillent incomparablement plus que les autres, parce qu'elles parcourent toute l'épaisseur de la pièce sur laquelle la scie agit, tandis que celles des extrémités n'en parcourent qu'une partie. Il en résulte que les dents du milieu s'usent plus vite, qu'il faut les affiler plus souvent, et, par suite, approfondir leurs entailles, ce qui ne peut se faire qu'aux dépens de la largeur de la lame. Si donc on ne donnait pas à cette lame une plus grande largeur dans son milieu, son tranchant deviendrait bientôt creux, et elle serait promptement hors de service.

Fig. 16. Dents du passe-partout sur une échelle double. Ce genre de scie étant destiné à scier les plus grosses pièces, leurs dents ont un grand trajet à faire avant de rejeter les copeaux qu'elles enlèvent dans un trait de scie, il faut entre elles une assez grande capacité pour contenir la sciure. Les dents seraient trop longues si, en satisfaisant à cette condition, elles étaient contiguës; on ne leur donne donc que 0^m,016 à 0^m,022 de longueur; on les écarte d'un peu plus du double, et le fond de l'entaille qui les sépare est droit. Elles sont d'ailleurs isocèles comme celle de la fig. 12, pour couper dans les deux sens, et l'angle de leurs pointes est compris entre trente et soixante degrés.

Fig. 17. Disposition que l'on donne souvent aux dents du passe-partout. Chaque dent est double, une moitié coupe le bois en marchant dans un sens, l'autre moitié coupe dans l'autre. Elles sont formées de deux tailles verticales et de deux tailles inclinées qui font l'office de biseaux. Il résulte de cette disposition que les tranchants, sans être plus aigus que dans la figure précédente, sont mieux situés pour couper le bois. Les espaces rectangulaires compris entre les bases verticales, et qui séparent ces doubles dents, reçoivent les copeaux, et ont une étendue suffisante en largeur et en profondeur pour les contenir jusqu'à ce qu'ils soient rejetés hors du trait de scie. Quant aux entailles qui sont entre les deux pointes d'une même dent, elles n'ont pas besoin de profondeur, puisqu'il ne peut s'y amasser de

sciure; elles n'ont d'autre objet que de former les biseaux des deux tranchants comme ceux des bédânes. Cette manière de tailler les dents d'un passe-partout fait qu'il peut produire plus de travail; mais, d'un autre côté, ces sortes de dents à deux taillants sont fort fragiles et difficiles à affiler.

Fig. 18. *Scie de long*. Cet outil est représenté par trois projections; dans la principale, il est projeté sur un plan vertical parallèle à son châssis. Sur la droite il est représenté de profil, et au bas de la figure il est en projection horizontale.

ac, bd, Montants en bois du châssis.

ab, cd, Traverses en bois ou *sommiers*. Ils sont quelquefois cintrés extérieurement pour leur donner plus de force.

Les montants s'assemblent dans les mortaises des traverses à tenons passants. Des clefs carrées, en forme de coins, passent dans des petites mortaises percées dans les parties des tenons qui excèdent les traverses. Elles servent à fixer l'assemblage; on les serre à petits coups de marteau.

e, Poignée supérieure ou *chevrette*.

f, Poignée inférieure ou *renard*.

Le châssis de la scie, représenté dans la figure 18, a environ 1^m,56 de hauteur sur 0^m,65 de largeur dans œuvre. On en a de plus grands pour les pièces de bois d'un équarrissage extraordinaire. Les deux poignées sont formées chacune d'un cylindre de bois de grosseur suffisante pour être saisi par les mains. Elles sont parallèles aux traverses et sont fixées chacune par deux petits bâtons; celle supérieure *e* sur le dessus de la traverse supérieure, et celle inférieure *f* sur la face de la traverse inférieure, qui est du même côté que le dos de la lame de la scie.

g, lame de la scie attachée au châssis de manière à pouvoir être montée, tendue et démontée, suivant les besoins du travail. Elle est posée avec soin, elle occupe exactement le milieu du châssis, elle est parallèle aux montants, et ses faces sont exactement perpendiculaires au plan du châssis, et par conséquent aux axes des cylindres *e, f*, qui servent de poignées.

h, Équier supérieur (1). C'est une *boucle carrée en fer*, dans laquelle passe la traverse supérieure. Cette boucle se place avant d'assembler le châssis. Elle porte sur une cale en bois, afin de ne point user le dessus de la traverse.

(1) Du latin *Equus*, cheval.

La partie inférieure de cette boucle, qui se trouve tournée du côté de l'intérieur du châssis, est partagée par une fente, de façon qu'elle est comme double; la lame de la scie passe par cette fente et s'y trouve retenue par deux goupilles en fer qui la traversent. Ces deux goupilles portent dans le bas de la boucle sur sa paroi intérieure.

i, Équier inférieur. C'est une autre boucle carrée en fer dans laquelle passe la traverse inférieure. Cette boucle est placée aussi avant d'assembler le châssis. Elle est posée en sens inverse de celle de la traverse supérieure; sa fente reçoit l'extrémité inférieure de la lame de la scie qui s'y trouve fixée par deux autres goupilles en fer, comme pour sa partie supérieure.

k, Vis de pression pour tendre la lame de la scie. Elle est engagée dans un écrou taraudé dans l'équier. Une cale en bois dur reçoit immédiatement l'effort de la pression, afin que la traverse du châssis ne soit point déchirée par le bout de la vis.

Fig. 19. Détail d'une boîte en bois pour remplacer au besoin les équiers en fer de la scie de long.

c d, Traverse du châssis de la scie.

h, Boîte en bois d'une seule pièce.

g, Lame de la scie fixée par deux goupilles en fer dans la fente de la boîte *h*.

k, Coin servant à tendre la lame de la scie. La boîte du haut et celle du bas sont égales, et leurs coins servent haut et bas à tendre la lame de la scie.

Fig. 20. Fragment de la partie supérieure de la lame de scie de long sur une échelle double pour montrer une des formes qu'on donne aux dents.

Fig. 21. Autre fragment de la partie supérieure d'une lame de scie de long sur une échelle également double, présentant une autre forme de dents.

Lorsque la scie de long fonctionne, son châssis est presque vertical; elle est mue par deux ou trois hommes, et elle ne scie qu'en descendant; les dents sont, dans l'une et l'autre figure, disposées pour ne couper que dans ce sens.

La forme représentée fig. 18, 19, 20 et 22, est employée pour les bois tendres, tels que le sapin, le pin, le peuplier; celle de la fig. 21 convient mieux pour les bois durs, tels que le chêne, le frêne, l'orme, etc.

Les dents des scies de long doivent être couchées, quelle que soit la nature du bois qu'elles ont à couper, puisqu'elles agissent dans un seul sens; si elles étaient isocèles comme celles, fig. 12, de la scie qui coupe le fil du bois en travers, leur tranchant ne se présenterait pas convenablement pour couper le bois debout, ni pour le meilleur emploi de la force des scieurs de long. Nous décrirons, en parlant du *sciage de long*, la manière de se servir de cet outil.

Fig. 22. *Scie de long* en usage dans quelques départements, notamment dans les anciennes provinces de Bretagne et de Normandie. Elle est représentée par deux projections verticales.

Les poignées supérieure et inférieure, *b d*, sont des cylindres en bois passés dans les douilles de deux bras en fer qui embrassent la lame *a* et y sont attachés par des clous rivés. Ces poignées ont, par rapport au tranchant de la lame, la même position que dans la scie à châssis, fig. 18.

La forme de cette scie est motivée par la suppression du châssis; la lame est un peu plus épaisse, afin qu'elle ait un peu plus de raideur, et, pour la même raison, elle est plus large en haut qu'en bas.

Fig. 23. *Scie à main* ou *feuillelet à poing*. La lame n'a d'autre monture qu'un morceau de bois plat découpé pour former une poignée; elle est reçue par un bout dans une fente où elle est retenue au moyen de deux ou trois rivures ordinairement en cuivre. Elle coupe dans les deux sens du mouvement qu'on lui donne.

Pour se servir de cette scie, on passe dans l'espèce d'anneau de la monture les quatre doigts de la main droite, on les rapproche du pouce pour serrer la poignée. De cette façon, on fait agir la scie en la dirigeant à *poing fermé*.

Fig. 24. Autre *scie à main*. Sa lame, très-étroite, est terminée par une soie rivée dans un manche tourné garni d'une virole.

Ces deux scies servent à couper du bois sur les parties que les autres scies ne peuvent atteindre. On les emploie aussi pour couper les chevilles, lorsque les bois sont définitivement assemblés.

Aiguisement des dents des scies.

Lorsque les dents d'une scie ne coupent plus, on les affine à la lime, parce qu'il serait à peu près impossible d'y appliquer l'action d'une pierre. L'acier des lames de scie n'ayant pas besoin d'une trempe très-dure pour couper le bois, se laisse limer assez facilement.

On se sert de limes triangulaires, dites *tiers-point*, et de limes rondes, dites *queues de rat*. Les premières servent à affiler le bout du tranchant des dents; les queues de rat s'emploient pour approfondir les parties arrondies entre les dents des scies de long, dont un fragment est représenté, fig. 20.

Pour affiler une scie, la lame étant démontée, on la place de façon que ses faces soient verticales, son dos horizontal et ses dents en haut. A défaut d'un étan en fer ou en bois pour la tenir, on se sert d'une entaille faite entre deux traits de scie dans le bout d'une pièce de bois horizontale et immobile élevée à la hauteur des mains; on place la lame de scie dans cette entaille contre la joue la plus près du bout, et dépassant le dessus du bois d'environ le double de la longueur des dents; on l'y assujettit au moyen d'un coin chassé horizontalement qui remplit l'entaille.

Lorsque la lame est fixée de cette sorte, on agit avec la lime, à laquelle on donne un mouvement perpendiculaire aux faces de la scie. On affile une à une les dents qui répondent à la portion de la lame saisie dans l'entaille. Après quoi l'on dessert le coin afin de faire glisser la lame dans le sens de sa longueur, et d'amener d'autres dents à la place des premières pour continuer l'opération. Lorsque la lame cesse d'être en équilibre dans l'entaille, on soutient l'extrémité la plus pesante par un bout de planche posé verticalement.

Fig. 25. *Tiers-point*. Lime qui présente trois arêtes et qui sert, comme il est dit ci-dessus, à affiler les dents de scie.

La lame étant posée, comme nous venons de le dire, son dos horizontal et ses faces verticales, les dents en haut; une face du tiers-point doit s'appuyer alternativement sur les deux tailles dont le concours forme le taillant d'une dent. Le mouvement de va-et-vient qu'on imprime à la lime avec les mains doit toujours être parallèle à un plan horizontal et perpendiculaire aux faces de la lame de scie, afin que le tranchant de chaque dent soit aussi perpendiculaire à ces faces, autrement le bout de chaque dent présenterait en place d'un tranchant une pointe qui déchirerait le bois au lieu de le couper. Il faudrait beaucoup plus de force pour faire agir la scie, et ses dents seraient promptement émoussées.

En changeant un peu la direction du tiers-point, on donne une légère obliquité aux tranchants des dents inclinées, sans cesser de les tenir dans le même plan horizontal perpendiculaire aux deux faces de la lame; mais il

faut que cette obliquité, qui a pour but de faciliter l'action du tranchant, soit répartie régulièrement en sens inverse et alternatif d'une dent à l'autre, et de façon à ramener toujours la sciure de bois vers le milieu du trait de scie; au surplus, le petit avantage qui en résulte ne compense point le soin qu'il faut apporter dans l'opération de l'affilage.

Fig. 26. *Rainette*. C'est une lame d'acier dont l'extrémité *a b* est repliée sur toute sa largeur et forme un crochet très-court; les deux coins *a* et *b* de ce crochet sont affilés en biseaux et forment deux petites gouges qui servent à faire des rainures ou raies sur le bois pour tracer des assemblages, des chiffres et des marques de repère. C'est de cet usage que vient le nom de *rainette* qu'on a donné à cet outil, auquel on a réuni ou une pointe comme celle du traceret, fig. 2, planche I, ou une rosette *c* qui sert à donner la voie aux lames de scie. Cette rosette est un disque en acier dont le contour est divisé par trois fentes dirigées vers son centre; ces fentes ont les largeurs nécessaires pour qu'on puisse y introduire les dents des lames de scie de toutes les épaisseurs.

Lorsqu'on veut donner de la voie à une scie, on saisit les dents l'une après l'autre dans une des fentes de la rosette; puis, en faisant effort sur la tige qui lui sert de manche comme sur un levier, on les incline alternativement de la quantité qui convient pour la voie qu'on veut donner, qui doit être moindre de chaque côté que la moitié de l'épaisseur de la lame.

Nous avons déjà dit que toutes les dents doivent être déviées de la même quantité à droite et à gauche de la lame; nous répétons que celles qui ne le seraient point assez ne travailleraient point, et que celles qui le seraient trop, ne pouvant passer dans le trait de scie ouvert par les autres, seraient infailliblement arrachées, ou elles causeraient, en passant dans le trait de scie, un frottement qui rendrait le travail du sciage très-pénible.

C'est à vue ou avec le secours d'une règle, ou même avec un fil tendu, qu'on vérifie la régularité de la voie d'une scie; on la rectifie et on la perfectionne avec le même outil.

Fig. 27. *Rosette* pour donner la voie aux lames de scie, montée indépendamment de la *rainette* sur un manche de bois tourné et garni d'une virole.

Attendu que la rainette trace des traits un peu trop gros pour la justesse des assemblages, on lui préfère aujourd'hui le traceret qui a été représenté, fig. 2, planche I. Souvent on le substitue à la rainette pour le réunir à la rosette dont il forme la queue.

7° Outils à frapper.

Planche I, fig. 39. *Marteau*. C'est une masse de fer qui présente d'un côté une *tête a* carrée, et de l'autre une *panne* à pied de biche *b*. L'une et l'autre sont garnies d'acier. Cet outil est représenté par deux projections verticales; sur l'une il est de profil, et sur l'autre il est vu par devant. Le marteau est percé d'un œil *c* pour recevoir le bout du manche *d*, qui y est serré au moyen d'un coin de fer et d'un léger évasement de l'œil du côté de l'entrée du coin.

La tête carrée est tant soit peu bombée; elle sert à chasser les clous, et la panne à pied de biche sert à les arracher.

Fig. 40. *Marteau à pointes*. Ce marteau est projeté sur deux plans verticaux comme le précédent; on a supprimé la projection de son manche; il ne diffère du précédent qu'en ce que la moitié de droite du pied de biche est remplacée par une pointe *f* pour faire, sans changer d'outil, des trous aux places où l'on veut chasser les clous : ce qui n'empêche pas que la panne fendue puisse servir aussi à en arracher.

Planche II, fig. 1. *Maillet*. Cet outil est entièrement en bois. Il est représenté par deux projections : l'une le fait voir de profil, *a b c d*; l'autre le présente par le devant, *a' b'*. Le corps du maillet est ordinairement en racine d'orme ou de frêne. Son manche *f* est de bois de fil, entré de force et serré par un coin dans le trou *f* qui traverse le maillet, et qu'on fait ovale par devant, afin que le coin écarte les deux moitiés du bout du manche, et que le maillet ne puisse pas se démancher. On se sert du maillet pour frapper sur les outils à manches de bois, tels que ceux des fig. 17, 18, 19, 20, 21, 24 de la planche I; c'est avec l'une de ses parties *a c* ou *b d*, les plus étroites, que l'on frappe, parce que le coup est plus sec et mieux dirigé. Cet outil est commun aux charpentiers et aux menuisiers.

Les charpentiers font encore usage de deux outils à frapper, que nous n'avons point représentés à cause de leur simplicité : l'un est la masse en bois, l'autre est la masse en fer.

La masse en bois est un gros maillet en bois dur. On prend souvent un morceau de racine noueuse; on lui donne une forme cylindrique de 19 à 22 centimètres de diamètre sur 27 à 32 de longueur; son manche est formé d'un bâton de bois dur et élastique d'environ 0^m,80 de long qui

la traverse perpendiculairement à son axe, et y est retenu par la pression d'un coin comme dans le maillet.

La masse en fer est un très-grand marteau à deux têtes carrées, à peu près de 7 cent. de côté, sur 11 à 14 de longueur. Cette masse porte un manche de 0^m,80 qui la traverse aussi comme celui du marteau ordinaire dont nous avons parlé plus haut.

Les masses servent à frapper les grosses pièces de bois pour les faire joindre dans leurs assemblages, soit au chantier, soit au levage.

Lorsque les pièces de bois sur lesquelles on veut frapper sont dressées et refaites avec soin et à vives arêtes, afin de ne point les gâter, on doit interposer entre elles et le coup de masse ou de marteau un morceau de bois. On applique ce morceau de bois contre la pièce sur l'endroit à frapper, et c'est lui qui reçoit le coup et le transmet à la pièce.

Nous venons de donner les figures et les descriptions des outils les plus en usage dans l'art du charpentier, et nous avons indiqué comment on en fait usage pour en obtenir le meilleur résultat sous le rapport de l'avancement et de l'exactitude du travail. Nous devons ajouter que le moyen le plus certain de se rendre habile dans leur emploi, est d'en faire un fréquent usage, d'observer les résultats du travail en suivant les préceptes qui précèdent, les conseils et les exemples des bons ouvriers, qui connaissent bien la manière de tirer de chaque outil le plus grand parti possible, avec économie de force; ce qui consiste surtout à ne mettre aucune raideur ni aucune accélération inutile dans les mouvements des bras et du corps. Un charpentier ne saurait, au surplus, commencer trop jeune à se familiariser avec tous les outils de son art, afin d'acquérir une telle habitude de leur maniement, qu'il ne lui soit plus nécessaire de penser à la façon de les tenir et de les faire agir, afin que son attention soit tout entière portée sur la bonne exécution des formes et l'exactitude des assemblages qu'il doit travailler.

CHAPITRE II.

CONNAISSANCE DES BOIS.

§ 1. *Notions physiologiques.*

Les arbres, qui sont le plus majestueux résultat de la végétation et le plus bel ornement de la surface du globe, sont aussi l'un des plus précieux produits de la nature; réunis en forêts, ils ont une influence marquée sur la température et la salubrité des lieux qu'ils avoisinent et sur l'abondance des eaux qui les arrosent; distribués autour des habitations, ils les embellissent de leur verdure et de leur ombrage, ils assainissent et embaument l'atmosphère. En quelque lieu que les arbres croissent, ils fournissent aux jouissances de l'homme et à ses plus importants besoins, soit par l'abondance et la bonté de quelques-uns de leurs fruits, soit par la substance même dont ils sont formés. Cette substance que l'on nomme bois est, pour la plupart des espèces, légère, élastique, tenace, d'une longue durée; elle se laisse façonner de mille manières diverses; elle est d'un usage presque général dans les arts les plus utiles aussi bien que dans ceux de luxe, et sa propriété d'être combustible, soit à l'état ligneux, soit réduite en charbon, en fait un objet aussi nécessaire pour le chauffage de l'homme et la cuisson de ses aliments, que pour une foule d'opérations qui exigent l'action de la chaleur. Cette propriété eût amené, chez les peuples dont l'industrie a fait d'immenses progrès, un épuisement complet des forêts, si l'exploitation de la houille, charbon minéral, n'eût pas donné un autre combustible qui, dans plusieurs circonstances, est devenu préférable et a diminué la consommation du bois.

Il est à remarquer que presque tous les naturalistes s'accordent pour donner à la houille une origine végétale, c'est-à-dire qu'elle est regardée comme le résidu d'une grande végétation, dont les immenses produits ont été enfouis par les plus anciens bouleversements de la surface du globe. Ainsi les forêts qui ont précédé la création de l'homme, mises en réserve dans les entrailles de la terre, pourvoient maintenant à l'insuffisance des

forêts modernes, et la plus antique végétation est aussi pour les générations humaines un bienfait de la Providence.

Le bois a toujours été une des substances les plus indispensables; le fer, en prêtant le secours de son tranchant et de sa force, a pu rivaliser d'utilité avec lui; mais on ne peut s'empêcher de reconnaître que le bois est la matière qui a le plus contribué à la conservation de l'homme, à sa défense, à sa civilisation et au développement de sa domination, puisque ses mains, devenues de plus en plus habiles, l'ont fait concourir si généralement, et pour une si grande part, à la fabrication de ses outils et machines, de ses armes, de ses meubles et ustensiles, et de toutes sortes de constructions, depuis la plus modeste chaumière, la plus petite passerelle et le plus frêle esquif, jusqu'à ses plus vastes édifices, ses ponts les plus hardis et ses plus gros navires, qui ont étendu son commerce et sa puissance, et mis en relation des peuples que la nature semblait avoir séparés pour toujours.

C'est surtout dans les différentes branches de l'art de la charpenterie que le bois est employé de la manière la plus remarquable et sous les plus grands volumes. La forme des arbres permet d'en tirer de longs parallépipèdes, appelés *poutres* ou *solives*, suivant leurs dimensions, et en général *pièces de bois*, dont les combinaisons et les assemblages donnent les moyens les plus rapides d'élever de grandes constructions.

Nous n'entrerons point ici dans une longue discussion sur la physiologie végétale, nous nous bornerons aux faits les plus importants et dont la connaissance est indispensable au charpentier, qui veut et qui doit même apporter du discernement dans le choix et le débit des bois qu'il emploie.

Le bois se tire, comme nous l'avons déjà dit, du corps des arbres, plantes ligneuses et vivaces qui ont une tige grosse, élevée et nue dans la partie qui constitue le tronc. La tête ou cime d'un arbre est formée de branches et décorée de feuilles qui croissent et atteignent leur développement pendant l'été, et tombent, pour la plupart des espèces, à l'arrière-saison, tandis que l'arbre reste debout pour se parer pendant plusieurs siècles de cette verdure que chaque année renouvelle.

La charpenterie n'emploie que les arbres les plus gros desquels on peut tirer, soit du tronc, soit des maîtresses branches, des pièces de bois d'une longueur et d'un équarrissage suffisants (1). Elle ne consomme que les espèces les plus communes, laissant les autres aux arts, qui n'ont besoin que

(1) L'équarrissage est la figure rectangulaire qui résulte de la largeur et de l'épaisseur d'une pièce de bois.

de la beauté de la matière ou qui ne requièrent pas de grandes dimensions et de la force.

Les arbres surpassent de beaucoup les autres végétaux, et parmi le grand nombre des espèces qui décorent et meublent nos forêts, il en est qui se font remarquer par leur grande hauteur quand on leur a laissé le temps de parvenir au maximum de leur croissance. On voit des chênes et des hêtres de plus de 40 mètres; les mélèzes, les pins et les sapins atteignent jusqu'à 45 mètres; d'autres espèces, telles que les charmes, les trembles, les érables, les aulnes, les ormes, et même les noyers, les peupliers et les cyprès, parviennent aussi à une très-grande élévation. La hauteur des palmiers des pays chauds ne le cède pas à celle du chêne. La grosseur des arbres varie beaucoup, suivant les climats, et même dans chaque espèce. On voit des ormes et des chênes qui ont près de 2 mètres de diamètre.

L'Américain Farner cite un orme qui se trouve à Hasfield, dans le Massachusetts, et qui est regardé comme le plus gros de toute la Nouvelle-Angleterre; mesuré près de terre, il a 11 mètres de diamètre, et à 1^m,60 du sol, dans la partie la plus mince du tronc, on lui trouve encore 7^m,80. En général, les arbres acquièrent en Amérique des dimensions incomparablement plus grandes qu'en Europe. La Condamine parle de canots de la rivière des Amazones, n'ayant pas moins de 90 palmes de longueur et 10 et demi de largeur d'une seule pièce, et tirés chacun d'un tronc d'arbre. D'autres voyageurs citent également des arbres qui étonnent par leurs grandes dimensions, tels que des sapins du nord de l'Amérique qui s'élancent jusqu'à 81 mètres de hauteur, et des cyprès de 2^m,25 à 2^m,60 de diamètre.

L'eucalyptus gigantesque de la Nouvelle-Hollande s'élève à une hauteur de 58 mètres sur une circonférence de 9 à 11^m,60. Ce bois, dur, pesant et rouge, peut remplacer l'acajou des Indes.

Le pin de la Caroline ou de Californie atteint des dimensions encore plus grandes, s'il est vrai qu'il puisse porter sa cime à près de 97 mètres de hauteur, et que son tronc puisse acquérir 19^m,40 de circonférence. Mais de telles dimensions ne sont rien en comparaison de celles des baobabs du Sénégal, qui, au rapport d'Adanson, ont jusqu'à 10 mètres de diamètre, dimensions qui paraissent si prodigieuses qu'on les mettrait au rang des fables, si elles n'étaient pas indiquées par un voyageur aussi véridique et confirmées par d'autres témoignages récents.

Sur la côte d'Afrique, depuis le Sénégal jusqu'au Congo, on fait des pirogues de 3^m,90 de large et de 19^m,40 de longueur, qui portent un poids de 25 tonneaux, avec le tronc d'un arbre classé, par les naturalistes, parmi les fromagers, avec lequel le baobab paraît avoir une grande affinité.

Le diamètre des plus gros arbres que l'on peut trouver ordinairement dans nos climats ne dépasse guère un mètre, et les plus petits ne doivent pas avoir moins de 15 à 20 centimètres de diamètre, pour que l'on puisse en tirer parti pour l'usage de la charpenterie.

La marine qui consomme, comme nous l'avons déjà fait observer, une grande quantité de bois, et pour le service de laquelle les pièces courbes sont les plus utiles, s'empare aussi des plus beaux arbres, ce qui fait qu'il est fort difficile de satisfaire aux besoins des autres branches de l'art de la charpenterie, et qu'il faut recourir à divers artifices pour suppléer en partie les dimensions des bois, soit sous le rapport de leur équarrissage, soit sous celui de leur longueur. La difficulté de se procurer, pour les travaux autres que ceux de la marine, de longues et fortes pièces de chêne, a rendu l'usage des pins et des sapins plus fréquent; elle a fait apprécier ces bois, dont les dimensions passent celles ordinaires des chênes, et qui n'étaient consommés jadis qu'aux lieux où ils croissaient.

Les botanistes classent les végétaux, et par conséquent les arbres, d'après l'organisation intérieure de leurs graines, c'est-à-dire d'après le nombre des *cotylédons* ou lobes des amandes de leurs semences, parce que les graines différemment divisées dans leurs amandes produisent des plantes très-distinctes, tant par le port de leurs tiges et les formes de leurs feuilles et de leurs fleurs, que par le mode de leur accroissement et leur texture intérieure.

Dans la première classe sont les arbres dont les semences n'ont qu'un seul *cotylédon* sans aucune division; les arbres de cette classe sont nommés *monocotylédons*, c'est-à-dire à un seul *cotylédon*.

Les *dicotylédons* et les *polycotylédons* forment la deuxième classe; leurs semences sont partagées dans l'intérieur en deux ou en un plus grand nombre de *cotylédons*.

Quoique les charpentiers d'Europe n'aient point occasion de travailler le bois des *monocotylédons*, parce qu'il nous est apporté par fragments qui ne trouvent leur place que dans quelques-uns de nos arts de luxe, il n'est pas inutile de leur faire connaître l'organisation de ces arbres si élevés, employés par leurs confrères d'autres climats.

Les *monocotylédons* sont privés de branches; leurs tiges ou *stipes*, presque cylindriques, s'élancent à une grande hauteur et sont couronnées d'un vaste panache de belles feuilles, du milieu desquelles sortent les fleurs et les fruits. Les arbres de cette espèce, connus sous le nom de *palmiers*, ne croissent avec vigueur que dans les pays voisins des tropiques, où ils sont

d'une importance majeure, parce qu'ils produisent en même temps des vêtements, des substances alimentaires, d'agréables boissons et le bois pour construire les habitations.

L'accroissement de cette espèce d'arbre résulte de la production des feuilles qui sortent du centre du panache, et sont le prolongement d'étuis concentriques s'élevant depuis les racines. En se développant, ces étuis pressent et dilatent ceux qui les ont précédés, et l'extension de ceux-ci détermine les progrès de la grosseur de l'arbre.

Au sommet de chaque étui, le bord sur lequel la feuille est attachée devient, en croissant, plus compacte et plus dur, il finit par former un anneau dont cette feuille se sépare en mourant; une suite d'anneaux semblables composent l'écorce par leur superposition, et présentent des cicatrices qui marquent dans toute la hauteur du stipe les places où les feuilles ont vécu.

L'intérieur d'un monocotylédon, c'est-à-dire son bois, ne présente ni cœur apparent ni couches concentriques, mais une sorte d'entrelacement assez lâche, d'innombrables filets ligneux qui s'étendent dans toute la longueur de l'arbre; ces filets sont entourés d'un tissu cellulaire abondant, ils sont d'autant plus serrés qu'ils sont plus près de l'écorce; cette organisation, qui est le résultat du mode d'accroissement, rend les monocotylédons, notamment les palmiers, fort difficiles à attaquer avec les outils tranchants et même avec la scie, tandis qu'il est aisé de les couper en brisant leurs filets les uns après les autres.

Les arbres *dicotylédons* et *polycotylédons*, qui forment la seconde classe, sont répandus en bien plus grand nombre que ceux de la première sur la surface de la terre. Ils diffèrent tous des *monocotylédons* par leur aspect et entre eux par un port particulier à chacune de leurs espèces. La forme de leurs troncs est généralement conique, c'est-à-dire d'un diamètre un peu plus gros près de la racine que vers le haut. Les sommets ou têtes des arbres de cette classe sont formés du prolongement du tronc divisé en plusieurs branches principales; chacune de ces branches se divise aussi en branches secondaires, et celles-ci jettent des rameaux ou petites branches auxquelles les feuilles éparses sont attachées par des queues ou pétioles plus ou moins délicats. Au premier aspect, on croirait que les feuilles sont nées au hasard, mais un ordre très-régulier et constant, dans chaque espèce, préside à leur distribution.

En coupant un arbre *dicotylédon* perpendiculairement à la longueur de son tronc, on voit qu'il est composé de trois parties aisées à distinguer :

l'écorce qui l'enveloppe, la *moelle* qui occupe le centre, et la substance *ligneuse* qui se trouve répartie circulairement entre les deux premières.

Dans la substance ligneuse on distingue deux épaisseurs : l'une, qui enveloppe la moelle, est la plus considérable et la plus dure, c'est le bois parfait; l'autre est le bois imparfait, nommé *aubier* à cause de sa couleur blanchâtre et de sa mollesse, qui le font distinguer du bois parfait.

La couche de l'écorce la plus voisine de l'aubier est le *liber*, nom dont nous avons fait en français le mot *lièvre*, parce que les anciens écrivaient sur les feuillettes dont cette couche est composée. On a acquis la preuve certaine qu'il se forme entre le *liber* et l'*aubier* une autre couche qui est la continuation de l'un et de l'autre; la matière de cette couche génératrice a reçu le nom de *cambium*. Elle se développe au printemps et en automne. Sa partie interne se change insensiblement en *aubier* et l'autre se change en *liber*. Jamais le *liber* ne devient bois; il est sans cesse repoussé par ce mode d'accroissement de l'arbre, et forme l'écorce qui se déchire et s'exfolie extérieurement, parce qu'elle se dessèche et que les feuillettes du *liber* ne peuvent en vieillissant s'étendre en proportion de l'augmentation de la circonférence de l'arbre (1).

Duhamel et Buffon ont depuis longtemps prouvé que l'aubier devient bois parfait; il n'y a donc point de doute aujourd'hui sur le mode de formation de l'aubier et sur sa transformation en bois parfait.

À mesure que de nouvelles couches d'aubier sont produites, elles forment de nouvelles enveloppes dont on observe les traces sur la coupe transversale des arbres dicotylédons. Ces couches sont d'autant plus nombreuses que l'arbre est plus âgé. Plusieurs auteurs prétendent que l'on se tromperait si l'on croyait que l'on peut compter le nombre des années d'un arbre par le nombre de ses couches ligneuses, puisque, suivant l'observation de Duhamel, tel arbre ne produira pas une seule couche dans une année et en produira plusieurs dans une autre. Néanmoins l'opinion la plus généralement admise et qui paraît appuyée sur des observations récentes, c'est que le nombre des couches ligneuses concentriques marque celui des années de l'arbre sur lequel ces couches sont comptées.

On doit remarquer que si chaque année voit naître une couche ligneuse d'aubier et une couche d'aubier se transformer en bois parfait, il faut néanmoins plusieurs années pour que la transformation s'accomplisse,

(1) M. Mirbel, *Bulletin de la Société philomatique*, 1816.

puisque dans toutes les espèces d'arbres dicotylédons l'aubier comprend toujours plusieurs couches annuelles.

Des rayons médullaires qui croisent les couches annuelles marquent les voies de communication de l'étui qui renferme la moelle centrale avec la circonférence de l'arbre où se forme le nouveau bois.

À l'égard de l'accroissement suivant la longueur, en examinant la coupe d'un arbre faite par son axe, et par conséquent suivant la direction de ses fibres, on retrouve les traces des enveloppes qui marquent les cercles annuels sur la coupe transversale; on voit que la tige principale et les branches ont toujours une forme conique; que les couches concentriques ne s'étendent pas dans toute la longueur de l'arbre jusqu'à la cime, mais qu'elles forment des enveloppes coniques tronquées, les plus nouvelles recouvrant les plus anciennes, et ayant aussi les sommités de plus en plus élevées, le tube médullaire leur servant toujours d'axe commun; de façon que ces couches qui augmentent annuellement la grosseur d'un arbre, produisent en même temps, dans une proportion plus grande, l'accroissement en hauteur de son tronc et de ses branches.

On ne peut guère évaluer la vie d'un arbre; on croit que le chêne peut vivre plus de trois cents ans; les antiques forêts fournissent des preuves de cette opinion, si l'on s'en rapporte au nombre des couches ligneuses que l'on compte dans leurs énormes troncs (1).

Les gigantesques *baobabs* du Sénégal, dont nous avons déjà parlé, comptent un grand nombre de centaines de ces couches; Adanson a prouvé que, parmi ceux qu'il avait observés, plusieurs étaient âgés de six mille ans. Ils ont vu naître, sans doute, sous leur ombrage, une innombrable série de générations d'animaux divers. Ces produits de la végétation sont des monuments plus anciens que les pyramides de l'Égypte et les antiquités de l'Inde. Ils peuvent servir à éclairer l'histoire du globe, et peut-être qu'un jour on trouvera des arbres encore plus anciens qu'eux dans des contrées où les voyageurs, et peut-être même les naturels, n'ont pas encore pénétré.

(1) On prétend qu'il existe sur le coteau Sainte-Anne, près Cunfin, village du département de l'Aube, un chêne auquel les annales du pays donnent 762 ans; il a 33 pieds de hauteur sous les branches, il porte au collet de la racine 22 pieds de circonférence. Et l'on rapporte qu'un bûcheron des Ardennes découvrit dans le tronc d'un arbre qu'il venait d'abattre des médailles samnites qui firent présumer que cet arbre pouvait avoir environ 3600 ans.

Dans le bois de chêne, les couches annuelles ont 3 à 4 millimètres d'épaisseur, chaque couche est formée d'une substance ligneuse dure et solide dans le bois parfait; une autre substance, distribuée entre ces couches et qui les réunit, est spongieuse et forme une sorte de réseau qui n'a qu'un millimètre d'épaisseur.

Plus les arbres renferment de ces couches, plus ils sont âgés, et plus il s'en trouve dans un même diamètre, plus leur bois est dur et pesant. On remarque que dans les bois extrêmement durs, comme dans les bois très-mous, les cercles des couches annuelles sont à peine sensibles. On ne les distingue pas dans l'ébène et dans quelques bois des îles, ni dans le peuplier et quelques autres bois blancs de nos climats.

Les racines d'un arbre, quoique enfoncées dans le sol, ont une organisation à peu près semblable à celles du tronc et des branches. Celles de diverses espèces d'arbres sont employées comme bois dans les travaux de quelques arts, mais aucunes ne sont mises en œuvre dans les constructions en charpente; nous n'avons donc point à nous en occuper longuement. Nous remarquerons seulement que les branches d'un arbre s'étendent et se divisent en rameaux et petits branchages, qui forment des étages plus ou moins réguliers dans sa cime, tandis que ses racines s'étendent en tous sens dans la terre et ont pour dernier terme de leur division des filaments ou radicelles, communément appelés chevelus, qui paraissent être aux racines ce que les feuilles sont aux branches.

On a remarqué que le développement des racines et celui des branches ont beaucoup de rapports. Ainsi, lorsqu'on supprime quelques branches considérables d'un arbre, les racines correspondantes souffrent et le plus souvent elles périssent. Il en est de même de tout autre changement qu'on fait subir, aux diverses parties des racines d'un arbre, qui se font sentir sur sa cime.

§ 2. *Reproduction des Arbres.*

Les arbres sont les produits des forêts poussées spontanément, et par conséquent fort anciennes, ou de forêts et plantations créées par les hommes depuis qu'ils se sont occupés de ce genre de culture, qui est un moyen de faire rendre à la terre le fruit d'un travail qui lui est appliqué. La reproduction des arbres, leur culture et leur exploitation ont des rapports

dont nous n'avons point à nous occuper, ils appartiennent à l'art de l'aménagement des forêts; nous nous bornerons à remarquer que les bois propres aux travaux de construction sont multipliés et reproduits de trois manières, qui ne s'appliquent cependant pas également à toutes les espèces, savoir : par graines ou semis, par plançons et sur vieilles souches.

La production par graines ou semis s'obtient en enfouissant les semences aux profondeurs convenables et dans les emplacements où l'on veut les faire germer, soit qu'il s'agisse de former une forêt sur place, ou de préparer des sujets pour les élever en pépinière et les transplanter ensuite sur les points où ils doivent végéter jusqu'à leur dernière croissance. Ce mode de production s'applique à toutes les espèces d'arbres. Les forêts qui en résultent sont désignées sous le nom de *hautes futaies* ou simplement *futaies*.

La multiplication par plançons ne se pratique avec succès que pour les arbres de certaines espèces, qui jouissent seules de cette propriété, que les portions de branches qui sont séparées du tronc et plantées en terre en saison convenable, jettent de nombreuses racines et produisent chacune un arbre de la même espèce que celui dont elles ont été séparées. Les saules et les peupliers se multiplient par plançons.

La reproduction sur vieille souche a lieu lorsqu'un arbre a été abattu et qu'on laisse sa souche, c'est-à-dire la masse de ses racines, dans la terre. Au retour de la saison où la végétation recommence, une grande quantité de jeunes jets sortent de la circonférence de cette souche entre l'écorce et l'aubier, par l'effet de la prolongation et de la division du liber; ces jets croissent de la même manière que les branches et forment ainsi une jeune forêt que l'on nomme *taillis*. On coupe ce *taillis*, au bout d'un certain nombre d'années, pour en laisser croître un nouveau qui sera coupé à son tour. Cependant, dès la première coupe, on choisit dans le *taillis* les plus beaux jets que l'on conserve seuls pour les laisser croître, afin qu'ils deviennent, avec le temps, des sujets de la plus grande hauteur de leur espèce; les jeunes arbres ainsi conservés au milieu des *taillis* sont appelés *baliveaux*, et forment avec le temps une forêt de grands arbres aussi propres aux constructions que ceux que les mêmes souches avaient portés.

Ces différentes manières de reproduire et multiplier les arbres propres aux travaux de construction, sont également bonnes dans les espèces auxquelles elles sont applicables; on n'a pas reconnu qu'elles apportassent de différence dans la qualité du bois; cependant Hassenfratz fait remarquer, d'après les expériences des frères Duhamel et les siennes, qu'en génè-

ral, dans les futaies, les arbres de 50, 60, 80 et 90 ans donnent constamment de plus grands produits en équarrissage, c'est-à-dire en bois propres aux travaux, que les arbres de même âge provenant des baliveaux des taillis, et que jusqu'à 80 ans ils produisent généralement le double. Mais c'est aux propriétaires qui se livrent à la culture des bois et à leur exploitation à vérifier cette observation et à en profiter; il est néanmoins utile que les charpentiers en aient connaissance, afin qu'elle se répande parmi ceux dont les intérêts commerciaux se trouvent si bien d'accord avec le besoin qu'on a d'accroître la production du bois.

La grosseur et la belle venue des arbres ne sont pas toujours, dans une même espèce, des signes infaillibles de la bonne qualité de leur bois. Le rapport de l'âge avec les dimensions d'un arbre, la nature et l'exposition du sol dans lequel il a poussé, doivent aussi être examinés pour juger de la qualité des bois qu'une exploitation fournira.

En général, les terrains marécageux ne portent que des arbres dont le bois est léger et spongieux comparativement à celui des arbres de même espèce venus dans de bonnes terres élevées. L'eau, trop abondante dans les terrains bas et argileux où les racines sont presque toujours noyées, ne donne point à la sève les qualités nécessaires pour constituer un bon bois. Les arbres venus dans ces sortes de terrains, qui ne sont point propres à leur essence, ne sont bons que pour des travaux autres que ceux de charpenterie. Le bois de chêne, par exemple, venu en terrain humide, est plus propre aux travaux du menuisier qu'à ceux du charpentier, parce qu'il a moins de force et de raideur, qu'il est plus mou et plus facile à travailler que le bois de chêne provenant de terrain sec et élevé; il est moins sujet à se fendre et se gercer, lorsqu'il n'est employé que pour des objets de petit volume.

Les terrains aquatiques ne sont propres qu'aux aulnes, aux peupliers, aux saules. Quelques autres espèces se plaisent en terrain frais ou seulement humide; mais les essences de chênes, d'ormes, de châtaigniers, ne prospèrent que dans les terrains secs, composés de bonnes terres, ne retenant après les pluies que ce qu'il faut d'humidité sans croupissement pour alimenter une belle végétation. Il en est de même des arbres résineux, qui ne réussissent pas toujours dans les terrains propres aux autres espèces, et surtout dans les sols marécageux. En général, les sables leur conviennent le mieux, et quelques espèces se plaisent particulièrement dans le voisinage de la mer; tel est le pin maritime, aussi utile par ses produits résineux que pour son bois.

Enfin, les arbres qui croissent dans les terres-maigres et pierreuses, et généralement dans toutes celles qui s'opposent à un progrès facile de leurs racines ou qui ne peuvent leur fournir la substance propre à leur essence, ne prennent que peu de hauteur; ils poussent lentement, ne produisent que du bois rude, souvent noueux et rabougri, d'un travail difficile, qui n'est bon qu'à des ouvrages grossiers, à moins qu'il ne soit propre, par sa couleur, sa dureté et les accidents qu'il présente, au placage pour la décoration des meubles ou la fabrication de quelques objets d'agrément, comme l'acajou ronceux et quelques parties des vieux noyers.

Les meilleurs signes de la bonne qualité du bois d'un arbre sont la beauté de son écorce et le peu d'épaisseur de son aubier. Ce dernier signe annonce que la qualité substantielle du sol a abrégé le temps de la transformation de l'aubier en bois parfait. On peut, en sondant un sol, préjuger en quelque sorte la qualité du bois des arbres qu'il a produits.

On a remarqué qu'à égalité d'âge, les arbres venus sur la lisière d'un bois sont plus gros, plus sains et d'une meilleure qualité que ceux venus dans son milieu, ce qu'on attribue à ce qu'ils ont joui davantage de l'influence de l'air. Les arbres des clairières ont une supériorité de taille, de grosseur et de qualité sur ceux qui croissent dans les parties touffues des forêts. On observe aussi que certaines expositions, tant à l'égard de l'action du soleil qu'à l'égard des vents et des formes des terrains environnants, influent sur la végétation des arbres et la perfection de leur bois.

Les arbres venus à l'exposition de l'est et du midi ont souvent leur bois dur et bon; mais ils sont branchus, quelquefois tortueux, et par cette raison on n'en peut pas tirer de belles pièces pour la charpenterie. A l'exposition du nord, les arbres sont plus beaux et plus droits, leur bois est beaucoup moins dur. A l'ouest, les arbres, battus par les vents, sont fatigués et fréquemment tordus, leur bois est souvent tortillard et roulé. On remarque, notamment sur les côtes maritimes qui se présentent à cette exposition, que les arbres souffrent, leurs têtes sont pliées, leurs cimes sont en forme de plan incliné par l'effet de l'impression du vent, qui gêne et retarde l'accroissement des branches qu'il frappe les premières, et qui servent d'abri à celles qui sont derrière. Il en est de même d'un bouquet de bois situé à cette exposition; toute sa sommité est inclinée, et les arbres de sa partie de l'est, particulièrement ceux de la lisière, présentent une belle croissance, ayant été protégés et garantis par ceux exposés aux vents de l'ouest, et qui en ont senti les pernicieuses influences. Cet effet est surtout remarquable sur les côtes de l'Océan.

§ 3. *Maladies des arbres sur pied.*

Les arbres sont, aussi bien que les animaux, sujets à des maladies qui ont des causes naturelles ou qui peuvent provenir d'accidents, mais dont les symptômes ne sont pas les mêmes, et qui ne se manifestent, le plus souvent, qu'après qu'elles ont fait des progrès tels qu'elles sont sans remède sous le rapport du tort qu'elles font aux qualités les plus essentielles du bois.

Comme toutes les plantes, les arbres sont soumis à la mort; c'est une loi dont aucun être n'est exempt : mais dans la mort des arbres, il y a une distinction fort remarquable à faire, qui établit une très-grande différence entre eux et les animaux. La matière du bois a une durée dont ne jouit pas celle des autres corps organisés. Les végétaux qui ne produisent point de parties ligneuses sèchent et tombent promptement en poussière; les animaux sont atteints de putréfaction presque immédiatement après qu'ils ont cessé de vivre, quel que soit le genre de mort qui les a fait périr; tandis que le bois se conserve des siècles après la cessation de la vie végétale dans l'arbre que la hache a abattu. Mais il est sujet à des altérations qu'il est indispensable de connaître, sinon pour les prévenir complètement, au moins pour en retarder les effets, et surtout pour rejeter des constructions les pièces qui donnent des signes d'une détérioration prochaine.

Lorsque, par l'effet de sa vieillesse ou par suite d'une maladie, un arbre meurt sur pied, même avant d'avoir atteint ou seulement approché de la limite ordinaire de l'existence des individus de son espèce, son bois perd toutes les qualités les plus indispensables, non-seulement pour les constructions, mais même pour la combustion. Il n'a plus ni flexibilité, ni force, ni faculté de se conserver; il devient sec, cassant et mou; il tombe de lui-même en débris ou en poussière : il se pourrit rapidement, se laisse aisément attaquer par les vers; enfin, il brûle presque sans flamme et sans production de chaleur.

Si, au lieu de périr de cette manière, un arbre est abattu dans sa vigueur, il cesse de vivre, il est vrai; il ne remplit plus aucune des fonctions de la végétation, il se sèche, mais il conserve toutes ses qualités ligneuses. S'il n'était pas attaqué de quelque vice maladif avant qu'on l'ait coupé, ou s'il n'est pas, avec le temps, atteint par une des causes

accidentelles qui détériorent les bois abattus ou mis en œuvre, il est propre aux constructions et peut durer presque indéfiniment.

Les maladies des arbres qui ont des causes fortuites sont : les plaies, les mutilations, les fractures qui peuvent résulter : 1° de la dent des gros animaux qui attaquent l'écorce, le liber et même l'aubier et le bois le plus récent, surtout dans les pousses les plus nouvelles; 2° des coups occasionnés par accidents ou donnés par mauvais desseins, même avec des outils tranchants; 3° des efforts du vent et quelquefois des atteintes de la foudre. Ces maladies peuvent avoir les mêmes résultats que quelques-unes des maladies naturelles qu'elles déterminent très-souvent.

Les maladies qui peuvent résulter des accidents et du régime habituel de la végétation ou de l'état de l'atmosphère et des météores sont : les *ulcères*, les *chancres*, la *carie*, les *gerçures*, les *gelivures*, la *roulure*, la *torsion*, le *cadran*, l'*exfoliation*, les *tumeurs*, les *loupes*, les *exostoses*, les *dépôts*, les *abcès*, la *pléthore*, la *champlure*, le *givre*, la *cloque*, la *défoliation*, la *fullomanie*, la *brûlure*, la *rouille*, le *blanc*, la *jaunisse* et le *retour*.

Les *ulcères* et les *chancres* des arbres ont quelques ressemblances avec ceux des animaux; ils proviennent de vices dont l'origine est le plus souvent dans les racines; la sève se porte quelquefois avec trop d'abondance dans quelque partie d'un arbre, et cette abondance se manifeste à l'extérieur par une sorte de suppuration qui est accompagnée de la corruption des fluides et bientôt de celle du bois qui avoisine le point ulcéré; le mal s'étend quelquefois assez pour dépouiller l'arbre de son écorce et le faire périr.

La *carie* est une sorte de pourriture qui provient de quelque vice dans la sève; elle a pour résultat la réduction de la matière ligneuse en poussière.

Les *ulcères*, les *chancres*, les *caries*, peuvent aussi provenir d'un vice des arbres appelé *gouttières*, qui sont des écoulements de l'eau de la pluie entre les fibres intérieures. L'eau s'introduit dans la partie supérieure à la jonction des branches entre elles ou avec le tronc, parce que le vent et le poids de ces branches déterminent quelquefois des déchirures qui lui permettent de descendre dans l'aubier ou entre l'aubier et l'écorce. Elle finit par se faire jour au dehors, et forme des gouttières qui entraînent avec elle la sève et en privent les fibres supérieures, qui ne peuvent plus acquérir les qualités du bois parfait et deviennent la proie de la pourriture.

Les *gerçures* sont des fentes qui se manifestent sur l'écorce et qui sont occasionnées par le hâle, la sécheresse et un trop rapide accroissement de

la chaleur de la saison ou une trop violente action du soleil. Les gercures découvrent le liber, l'exposent à l'action d'un trop grand dessèchement, qui s'étend jusque dans l'aubier; elles sont une cause et un signe de la détérioration des bois.

Le *cadran*, ou la *cadranure*, est une gercure circulaire accompagnée d'autres gercures en rayons qui se forment sur l'écorce; on ne sait pas quelle est la cause de cette maladie: il se pourrait qu'elle fût le résultat du travail de quelque insecte.

Les *gélivures simples et entrelardées* sont des crevasses qui commencent dans l'écorce, pénètrent l'aubier et atteignent quelquefois profondément le bois parfait. Elles sont causées par les fortes gelées qui saisissent la sève; l'eau qui en fait partie, en se congelant, abandonne les autres substances avec lesquelles elle se combine ou agit pour la composition de la matière végétale. Elle se réunit en petits glaçons disséminés qui occupent de plus grands volumes que la capacité des pores du bois. La force qui produit cette sorte de cristallisation est supérieure à celle qui réunit les fibres ligneuses; elle agit en même temps que le resserrement du bois sur la circonférence de l'arbre, par l'effet du froid; l'une et l'autre causes le font éclater avec bruit dans le sens de l'écorce au cœur. Ces gélivures détériorent le bois; par le dégel, la végétation ne ressoude pas complètement les fentes, et l'humidité qui s'y trouve renfermée vicie le bois. Nous reviendrons sur cette maladie en parlant plus loin des bois gelifs.

La *roulure* est un vice occasionné par le froid d'un hiver très-rigoureux, qui saisit et désorganise en quelque façon le liber, ou au moins quelques-uns de ses feuilletts, et l'empêche de passer à l'état d'aubier, quoiqu'il continue de fonctionner pour la transmission des matériaux qui doivent former les feuilletts du nouveau liber, mais de telle sorte cependant que ceux-ci ne peuvent plus se lier avec ceux des années antérieures.

Lorsque les uns et les autres sont parvenus à l'état d'aubier et même à celui de bois parfait, les couches détruites et désorganisées par les gelées et qui n'ont pu être remplacées, laissent une solution de continuité qui s'étend sur une grande partie du tronc de l'arbre et quelquefois sur la totalité de sa circonférence, et forment ainsi deux cylindres concentriques, détachés l'un de l'autre et séparés par un intervalle qui a quelquefois la largeur d'un travers de doigt. Le plus souvent, cependant, la roulure n'a lieu que du côté où l'arbre a été le plus vivement atteint par le froid, et elle ne s'étend que sur une partie de la longueur du tronc.

En débitant des arbres dont le bois était roulé, on a vérifié, par le

nombre des couches annuelles qui recouvraient la rou lure, que le vice répondait exactement aux années des hivers remarquables par leur rigueur. Il suffit que cette maladie ait vicié un arbre pour qu'on ne puisse en tirer une pièce de charpente; il est d'ailleurs à remarquer que, quoiqu'une rou lure ne soit manifeste que sur une étendue limitée, il est rare que toute la longueur de l'arbre ne s'en ressente pas plus ou moins.

Le vent et le froid, et surtout les fortes gelées, font le plus grand tort aux arbres.

Les gerçures, les fentes, les gelivures simples et entrelardées, le double aubier et la rou lure sont incontestablement des vices qu'on ne peut attribuer à d'autres causes.

Dans les exploitations, on a pendant longtemps reconnu sur les bois des traces de l'action de la gelée de l'hiver de 1709, qui se fit remarquer par la réunion des circonstances les plus fâcheuses. Son âpreté, qui fut préjudiciable à toutes les plantes, fut mortelle pour un grand nombre d'arbres, et notamment pour ceux qui, par leur âge, leur force et leur vigueur, paraissaient devoir en être affranchis.

Une grande partie des arbres les plus durs, ceux mêmes qui conservent leurs feuilles pendant l'hiver, moururent; l'écorce des vieux sujets avait été détachée du bois, et, quoique les jeunes arbres ne dussent pas éprouver le même effet, parce que leur écorce était plus adhérente, ils ne résistèrent pas mieux : on reconnut que les uns et les autres avaient été attaqués par la gelée jusqu'au cœur.

Nous aurons encore occasion de revenir sur ces vices capitaux, en parlant des bois prêts à être mis en œuvre.

La *torsion* n'est pas précisément une maladie; c'est une difformité qui influe de telle sorte sur la constitution du bois et la disposition de ses fibres, qu'elle le rend impropre au travail du charpentier. La torsion résulte de la constance d'une même action du vent sur une partie de la tête de l'arbre, lorsqu'elle n'est pas de forme régulière et qu'elle n'est pas symétriquement placée sur la tige, ou lorsque l'arbre présente une difformité dans sa structure. Le vent tord la tige lorsqu'elle est jeune; les filaments se contournent en vis que les accroissements du liber suivent, et lorsque le tout devient bois parfait, les fibres du corps ligneux conservent cette disposition : le bois est tors et n'est plus propre à être équarri, parce que la majeure partie de ses fibres seraient coupées par les plans d'équarrissement.

L'*exfoliation* est une maladie de l'écorce qui se détache par feuillets. Il

en résulte une altération dans le liber et dans la qualité du bois qu'il fournit; cette altération est quelquefois assez grande pour qu'on distingue, lorsqu'on débite un arbre, une différence de couleur entre les couches de l'aubier le plus ancien et celles de l'aubier nouvellement formé : cette différence se fait même remarquer encore lorsque l'aubier est devenu bois parfait. Il se pourrait que cette maladie, dont on ne désigne point la cause, fût le résultat du travail de quelque insecte microscopique, qui aurait échappé jusqu'à présent aux observations des naturalistes.

Les *tumeurs*, les *loupes*, les *exostoses*, les *dépôts* et les *abcès* sont toujours produits par des vices locaux qui ont déterminé la détérioration du liber et l'affluence de la sève sur certains points, d'où résulte une extravasation et l'accumulation de la substance végétale, qui forme des excroissances d'une texture confuse. Ces maladies attaquent aussi bien les arbres des forêts que ceux des vergers, et sont souvent occasionnées par des blessures, des piqûres d'insectes et des plantes parasites; elles influent sur les qualités du bois, les unes sous le rapport du défaut d'uniformité du tissu ligneux, les autres par des difformités qui s'opposent à ce qu'on tire des arbres des pièces aussi longues qu'elles pourraient l'être si ces arbres étaient parfaits.

La *pléthore végétale* résulte d'une trop grande abondance de matières nutritives, qui se portent irrégulièrement sur diverses parties de l'arbre et le déforment; elle nuit par conséquent à la qualité du bois, en détruisant son homogénéité. Les pièces de bois tirées d'arbres atteints de la pléthore ne peuvent pas être employées dans les charpentes hautes, dont les pièces ont à résister à des efforts uniformes, ou dont les variations sont assujetties à quelques lois régulières. Ces bois doivent être consommés dans les ouvrages grossiers ou dans des fondations, et le mieux, c'est de les consacrer au chauffage.

La *champlure* est le résultat de la gelée des jeunes pousses; le *givre* est aussi une altération du bois des branches, causée par les glaces, sous forme de givre, qui s'y attachent.

La *cloque* se manifeste par l'aspect des feuilles qui se plient, se rident et changent de couleur avant la saison. Cette maladie n'attaque souvent qu'une partie du feuillage et n'étend ses symptômes que sur quelques-unes des branches.

La *défoliation* avant la saison de la chute des feuilles peut avoir plusieurs causes; mais il est rare qu'elle ne provienne pas d'une maladie du liber produit l'année où elle a lieu, et qu'elle ne soit pas un symp-

tôme de défectuosité dans la couche de bois parfait qui doit en résulter.

Il en est de même de la *fullomanie*, ou *phyllomanie*, qui est une excessive production de feuilles annonçant des dérangements dans le régime de la végétation du sujet sur lequel elle se manifeste, et qui doit influer sur les qualités du bois produit.

La *brûture* des feuilles, des bourgeons et du jeune bois est une maladie qui paraît affecter particulièrement les arbres cultivés en espalier; elle attaque cependant aussi les arbres forestiers. Elle résulte des effets alternatifs du *gel* et du *dégel* causés par l'action du soleil; elle peut aussi être produite par l'atteinte d'un mauvais vent.

La *jaunisse* n'affecte que les feuilles qui prennent presque subitement une couleur jaune, sans qu'on soit dans la saison de leur chute.

La *rouille* s'annonce par une poussière rouge qui se dépose sur la tige et sur les feuilles; le *blanc*, ou *meunier*, se montre sous l'apparence d'une poussière blanche et quelquefois filamenteuse. On présume que l'une et l'autre proviennent de la présence de quelques parasites.

Les *mousses*, les *lichens*, les *champignons*, les *moisissures*, sont aussi des végétaux parasites, qui font de grands torts aux arbres.

Les *mousses* et les *lichens* sont des plantes qui s'attachent sur l'écorce des arbres et les couvrent souvent sur toute leur longueur; elles paraissent tirer leur nourriture de l'écorce même, et absorbent ainsi une partie de la sève en même temps que leur multiplicité intercepte l'action de l'atmosphère. Elles nuisent certainement au développement des arbres; la présence de ces plantes est, en général, un signe certain d'une humidité qui fait tort à la qualité du bois.

Les *champignons* et les *agarics* s'établissent ordinairement sur le tronc des vieux arbres, près de leur souche; ils annoncent le commencement du dépérissement, et l'on peut être certain qu'ils le hâtent, à cause de l'humidité qu'ils entretiennent.

La *moisissure*, qui se montre de la même manière, marque un commencement de pourriture de la souche, d'où résulte une altération dans les produits de la végétation; elle est souvent un symptôme de la vieillesse des arbres.

D'autres maladies sont occasionnées par des insectes; tels sont les *galles*, le *dépouillement*, la *vermination* et la *vermoulure*.

Les *galles* sont des excroissances et des boursouffures formées par des insectes pour s'y loger et y déposer les œufs des larves qui doivent s'y nourrir. Il est rare que le corps d'un arbre en soit attaqué. Les *galles* s'établissent de préférence sur les feuilles et le jeune bois des branchages;

mais, lorsqu'elles se multiplient, elles nuisent à la santé de l'arbre en gênant le développement des parties sur lesquelles elles se sont propagées, et en les empêchant de concourir aux fonctions végétales auxquelles elles sont destinées. La noix de galle, dont on fait un grand usage dans l'industrie, est la galle d'un chêne de l'Asie Mineure; les taillis de chêne de nos climats sont souvent garnis de petites galles sphériques de la grosseur d'une noisette, dans lesquelles on trouve les insectes qui les ont façonnées.

Le *dépouillement* est causé par des chenilles dont les innombrables troupes réduisent toutes les feuilles aux squelettes de leurs nervures. Ces insectes font un dommage réel, en privant les arbres, pendant une partie de l'été, d'un organe nécessaire au travail de la végétation. Il est reconnu que, si le dépouillement a lieu plusieurs années de suite sur les mêmes sujets, ils meurent infailliblement. Les ravages que font les chenilles sont, pour la plupart des arbres, plus à redouter que des maladies en apparence très-graves. Le seul moyen qu'on puisse employer pour les prévenir, c'est l'échenillage; et l'on ne saurait trop le recommander; il consiste dans la suppression des bouts de branchages qui portent les espèces de nids où sont déposés les œufs et où naissent les larves d'insectes; on doit les réunir avec soin et les brûler.

La *vermination* résulte du dépôt que des insectes ailés font de leurs œufs là où les larves, qui doivent en naître, trouveront une abondante et facile nourriture. On attribue souvent à une cause purement végétale les maladies des arbres, et le plus ordinairement elles sont le résultat de l'attaque de l'une des espèces de ces insectes. Lorsque les mêmes symptômes de maladie se manifestent sur les individus d'une seule essence dans une forêt, on peut être certain que cette espèce d'épidémie est l'effet de la vermination, parce que chaque essence d'arbre est attaquée par un genre particulier d'insectes. Pour les espèces les plus grosses, c'est dans la souche et les racines que les larves pénètrent. Elles y font des trous dont le diamètre augmente à mesure que l'insecte, qui les approfondit, croît en grosseur. Dans peu de temps les principales sources de la vie végétale sont anéanties et les plus beaux arbres périssent.

Quelquefois, des arbres tout entiers sont attaqués par une autre espèce d'insectes, qui déposent leurs œufs dans l'écorce; les vers, en grandissant, percent et rongent le bois jusqu'au cœur; leur multitude peut également causer la mort des sujets sur lesquels ils se sont établis.

Des vers d'une plus petite espèce se creusent des tuyaux ou galeries

sous l'écorce, qu'ils attaquent en même temps que le liber; ces galeries rayonnent autour du point où les insectes mères ont amassé leurs œufs. La cadranure, dont il a été question plus haut, est peut-être l'effet d'un travail de cette sorte qui donne la forme d'un cadran à la gerçure occasionnée par le vide que les insectes laissent sous l'écorce.

D'autres femelles d'insectes déposent leurs œufs le long des chemins qu'elles se frayent dans le liber, et les jeunes larves suivent des deux côtés des routes perpendiculaires à ces galeries principales que leurs mères ont parcourues. Souvent un arbre attaqué par une multitude innombrable de petits vers, qui se nourrissent sous son écorce, se dessèche et meurt en peu de temps, parce que son liber se trouve entièrement détruit, et son dépérissement complet découvre le mal alors qu'il est sans remède.

Les ravages de cette sorte se propagent quelquefois dans les forêts avec une effrayante rapidité, à cause de la prodigieuse fécondité des insectes.

Ce genre de maladie attaque particulièrement les pins; mais il est à redouter aussi pour d'autres essences, telles que le chêne et l'orme. Il a fait, à différentes époques, des ravages incalculables dans la Germanie; on a craint, à diverses reprises, la destruction de forêts entières. Vers 1769, dans le Hartz seulement, le nombre d'arbres que cette maladie a détruits a été évalué à 1 500 000. Les habitants de ces contrées se trouvèrent menacés d'une ruine totale, par la privation du bois pour l'usage de leurs mines. Les insectes destructeurs des forêts émigrent par essaims, comme les abeilles. Malheur aux pays boisés sur lesquels ils s'abattent! Les forêts de la Franconie et de la Souabe faillirent être détruites, par suite d'une émigration de ce genre; mais les insectes périrent heureusement de 1784 à 1789, par l'effet de plusieurs hivers très-rigoureux. On est surpris sans doute que des animaux si petits puissent causer des ravages aussi considérables; mais l'étonnement cessera dès que l'on considérera que, pendant les désastres dont nous venons de citer des exemples, les vers se multiplièrent tellement que l'on en comptait jusqu'à 80 000 sur un même arbre.

Le moyen d'arrêter les ravages de la *vermination*, notamment celle causée par ces myriades de petites larves, c'est d'abattre tous les arbres envahis, de les écorcer de suite et de brûler leur écorce et tous les vers qu'on en a détachés; mais le mieux serait de prévenir le mal, ou du moins ses progrès, en détruisant autant que possible les insectes que l'on peut atteindre avant le temps où les femelles pondent leurs œufs.

Le conseil général du département de la Sarthe a donné en 1833 un exemple qui mérite d'être partout imité, en votant un fonds de 6 000 fr.

pour la destruction des insectes. Il a rendu un éminent service à l'agriculture, et l'expérience prouve déjà quelle est l'utilité d'une pareille allocation, qui paraît, au premier aperçu, dépasser l'importance de son objet. Une seule des communes du département que nous venons de citer a détruit 50 hectolitres de hannetons; chaque hectolitre contenait 48 000 individus, en supposant que le nombre des femelles fût égal à celui des mâles. La destruction des femelles, dans cette commune, a été de 1 200 000, en supposant que 20 des œufs pondus par chaque femelle produisent des larves qui parviennent à leur plus forte grosseur, les 1 200 000 femelles auraient donné l'année suivante naissance à 24 000 000 d'individus, lesquels, en suivant la même hypothèse, auraient pu donner naissance successivement la deuxième année à 240 000 000, la troisième à 2 400 000 000, et ainsi de suite. On voit avec quelle prodigieuse rapidité ces ennemis de nos bois pullulent. Les hannetons ne sont pas les seuls qu'on doive détruire; plusieurs espèces de gros scarabées attaquent la tige et les racines des arbres, et une multitude d'autres petits insectes, notamment du genre bostriche, ne sont pas moins redoutables : ce sont eux qui se glissent sous l'écorce; ils se nourrissent du liber et font les plus funestes et les plus rapides ravages. On voit combien il serait utile d'encourager la destruction des insectes de toutes les espèces; et c'est aux naturalistes, qui s'occupent particulièrement d'entomologie, à désigner les plus pernicieuses, et à la destruction desquelles on doit s'attacher avec le plus de persévérance.

Le *retour* est la dernière maladie des arbres sur pied qui ont dépassé le terme de leur maturité. Le *retour* se reconnaît au *couronnement* de la cime, nom qu'on a donné au dessèchement des menus branchages les plus élevés auxquels la sève ne peut plus parvenir, soit par l'effet de l'obstruction des canaux par la matière ligneuse qui s'y est déposée, soit par l'affaiblissement de la cause qui produit le mouvement ascensionnel des fluides qui portent la vie aux dernières extrémités des rameaux. Cette dernière phase de l'existence végétale est sans remède; c'est une caducité qui ne dépend pas toujours de l'âge des arbres : car la nature du sol, le climat, l'exposition ont une grande influence sur la durée de la vie des végétaux. Le retour fait souvent de rapides progrès; dès que cette décrépitude gagne les grosses branches, en peu d'années elle atteint le tronc; elle est bientôt suivie de la mort de la totalité de l'arbre. Au premier signe de retour, on doit se hâter d'abattre le sujet qui en est atteint, et souvent il est déjà trop tard pour que la qualité du bois n'en soit point affectée : aussi l'on

ne doit point attendre ce symptôme funeste pour exploiter les arbres destinés aux travaux de construction.

Le bois des arbres sur le retour n'est guère plus propre aux travaux que le bois des arbres morts sur pied : il a perdu aussi une grande partie des qualités les plus essentielles aux constructions, la force et l'élasticité; il a, en outre, une propension très-marquée à une prompte détérioration. Et, nous le répétons, on ne doit pas manquer d'abattre les arbres destinés à la charpenterie, lorsqu'ils sont dans leur plus belle vigueur, et sans attendre le signe de leur retour. Les cultivateurs forestiers ont une grande habitude à cet égard; ils jugent très-bien quand il est temps d'abattre les arbres pour que leur bois ait toutes les qualités requises pour les travaux. Leur intérêt se trouve en cela d'accord avec celui de l'art, en ce qu'il les porte à abattre les arbres dès que leur accroissement ne présente plus de profit. Ils savent apprécier, par l'effet de leur grande expérience, à quel moment, pour une coupe, l'intérêt de l'argent, pendant une année, est plus considérable que la valeur du bois produit par l'accroissement annuel des arbres, selon leur âge et le sol où ils végètent. Mais ces détails ne sont plus du nombre des connaissances utiles aux charpentiers.

§ 4. *Maladies et vices des bois abattus et des bois mis en œuvre.*

Les charpentiers étant dans le cas de tirer du commerce des bois en grume (1), il était utile d'indiquer les maladies et vices des arbres sur pied et les symptômes auxquels on peut les reconnaître, d'autant plus que plusieurs de ces maladies et vices subsistent ou laissent leurs traces après que les arbres sont abattus. Tels sont : les ulcères, les chancres, les gerçures, la carie, les tumeurs et la torsion.

En général, la régularité de la rondeur d'un arbre, sa rectitude d'un bout à l'autre, un décroissement de diamètre bien proportionné, une écorce fine ou au moins très-uniforme dans sa texture, quelque grossière qu'elle soit suivant l'essence du sujet, indiquent que son bois doit être de bonne qualité.

(1) L'expression de *bois en grume* est l'équivalent de celle de bois rond, bois qui n'est ni équarré ni même écorcé. Il est presumable qu'elle nous vient des exploitations des forêts allemandes.

Toute apparence de nœuds, loupes, tumeurs, boursofflures; toutes plaies anciennes quelque bien cicatrisées qu'elles paraissent; toutes traces de chancres ou de gouttières sont des signes infailibles que le bois est vicié.

Les champignons et agarics frais, sur un arbre abattu depuis longtemps, sont des signes également certains qu'il est resté dans quelque lieu humide, qu'il recèle quelque vice intérieur et que son bois a subi quelque détérioration notoire.

Un arbre soupçonné de quelques défauts dans son bois doit être examiné avec soin et sondé avant d'être équarri.

Lorsqu'un arbre est abattu et encore enveloppé de son écorce, à moins d'une grande habitude qui ne se trouve que chez quelques cultivateurs forestiers et les ouvriers qui exploitent les bois et les travaillent dans les forêts pour les équarir et les scier, il est fort difficile de prévoir les qualités et les défauts dont les pièces qu'on en veut tirer seront affectées. Ce n'est, pour des yeux peu exercés à ce genre de connaissance, que lorsque les bois sont équarris et même débités, qu'un jugement certain peut être porté. Les charpentiers qui tirent leurs bois du commerce sont dans ce cas, et c'est pour cette raison que nous allons entrer dans quelques détails sur les qualités des bois de charpente.

Les qualités principales des bois de construction sont la dureté, l'uniformité de leur substance, la rectitude de leurs fibres, l'élasticité. Lorsque les bois sont récemment abattus et équarris, leur bonne qualité se reconnaît, surtout pour les bois durs, tels que le chêne, le châtaignier et l'orme, à une odeur fraîche et agréable qui s'en exhale, odeur fort différente de celle des bois, quoique fraîchement coupés, qui commencent à s'échauffer et qui ont une disposition à la corruption, et par suite à la pourriture. Lorsque les bois sont abattus depuis plusieurs années, s'ils sont secs et sains ils ne donnent presque aucune odeur, excepté les bois résineux, qui donnent pendant très-longtemps celle de leur résine. On renouvelle la vivacité de l'odeur du bois en enlevant quelques copeaux minces de sa surface. Le bois sec et sain est solide et tenace, sonore et élastique. Il devient mou et sourd dès qu'il est mort ou vicié par la pourriture, et, si on le mouille, il en sort une mauvaise odeur.

La bonne qualité du bois, abstraction des détériorations partielles et des vices accidentels de quelques-unes de ses parties, se reconnaît encore aisément à la couleur uniforme et foncée qui est propre à son espèce. Dès

qu'elle varie du cœur à la circonférence, et surtout lorsqu'elle s'éclaircit subitement ou même trop rapidement avant la limite de l'aubier, on peut être assuré que le bois a souffert quelque maladie. Un examen scrupuleux doit suivre cette observation, et si la pièce examinée donne signe d'une disposition à une détérioration quelconque, elle doit être rejetée des constructions, pour peu qu'on attache du prix à leur durée.

On doit rejeter des travaux l'aubier simple, le double aubier, les bois rabougris, rebours rustiques et à fibres inégales; les bois nouveaux, les bois gélifs simples, ceux à gélivures entrelardées; les bois gercés, fendus, roulés et tordus; les bois en retour, échauffés, brûlés, passés, piqués, vermoulus, cariés, pourris et morts.

L'aubier n'est pas un vice proprement dit, puisque, comme nous l'avons déjà vu, le bois passe par l'état d'aubier avant d'être bois parfait. C'est donc un état du bois qui est inévitable. Tous les arbres, suivant leur espèce, ont un aubier plus ou moins épais dont il est indispensable de débarrasser le bois parfait le plus tôt possible, après que l'arbre est abattu, parce que l'aubier étant la partie incomplète du bois qui n'a point été imprégnée de toutes les parties constitutives du bois parfait, sa substance est spongieuse, plus capable de retenir l'humidité que le bois parfait. Il est sujet à une très-rapide pourriture, et il transmet très-facilement aux pièces avec lesquelles il se trouve en contact le germe de cette maladie si funeste aux ouvrages en bois. Aussi doit-on enlever l'aubier, non-seulement des bois que l'on met en œuvre, mais aussi de ceux qu'on veut conserver en approvisionnement.

L'aubier est très-distinct dans les bois durs, tels que le chêne et l'orme; il est à peine sensible dans les bois exotiques les plus durs, et souvent on ne peut pas le distinguer dans nos bois blancs, tels que le peuplier, le saule, le tilleul.

Le double aubier est un des plus grands défauts que puisse présenter une pièce de bois. Heureusement ce vice est fort rare. Il consiste en deux couches d'aubier séparées par une couche de bois parfait. Ainsi, lorsqu'un arbre atteint de ce vice est coupé perpendiculairement à ses fibres, on voit sous l'écorce une couche circulaire d'aubier; sous cette couche plusieurs cercles annuels de bois parfait, puis une seconde couche d'aubier, et enfin tout l'intérieur de l'arbre en bois parfait. Ce vice est fort grave, attendu que l'aubier de la seconde couche doit être enlevé aussi soigneusement que celui de la première, ce qui occasionne une grande perte de bois, et réduit considérablement les dimensions de la pièce qu'on

se proposait de tirer d'un corps d'arbre avant qu'il fût abattu. La réduction de l'équarrissage peut être telle, qu'on soit dans la nécessité de renoncer à tirer parti d'un tel arbre pour la charpenterie.

Le bois *rustique*, *rebours* et *noueux* est un bois dont les fibres, au lieu d'être droites, sont comme ondulées, tordues, tressées et nouées les unes avec les autres; ce vice rend le travail fort difficile et rebutant, parce que le fil se présente en tous sens et souvent au rebours du mouvement de l'outil, tellement que le bois s'arrache au lieu de se laisser couper. Les pièces de bois affectées de l'un de ces défauts sont rarement de grande dimension; on les emploie seulement dans quelques parties de la charpenterie de machines où elles sont utiles à cause de la ténacité de leurs fibres. On doit les rejeter des autres constructions, tant à cause de la difficulté de les façonner, que parce que leur bois étant plus compacte, il ajouterait aux charpentes un poids nuisible, et qu'il s'en faudrait d'ailleurs de beaucoup que leur résistance fût en proportion avec leur pesanteur et le travail qu'elles occasionneraient. Ces bois peuvent être employés sans inconvénients dans les constructions hydrauliques et notamment sous l'eau.

L'*irrégularité* trop grande dans la répartition des *fibres* d'une pièce de bois est un vice assez grave; car la résistance des fibres qui sont serrées est plus grande, dans quelque sens qu'on l'emploie, que celle des fibres très-écartées. Si l'on tenait rigoureusement à n'employer que des pièces qui n'auraient que des fibres, sinon également serrées, au moins régulièrement ou symétriquement réparties, on courrait risque de n'en trouver qu'un trop petit nombre, parce qu'une foule de causes influent, pendant la végétation, sur la distribution des fibres. D'ailleurs la forme conique de la tige des arbres s'oppose à une parfaite égalité dans la force des fibres; il ne faut donc, lorsque le bois est d'ailleurs d'une bonne qualité, tenir à cette condition qu'autant qu'elle est d'une grande utilité et ne chercher qu'à s'en approcher le plus possible, dans le choix des pièces qui ont à remplir des fonctions pour lesquelles cette égalité serait le terme de la perfection. Il est souvent possible de faire tourner l'irrégularité de répartition des fibres au profit de la solidité des constructions, en employant les pièces dans les situations qui leur conviennent le mieux.

Les bois *noueux* sont vicieux, attendu que les nœuds interrompent la rectitude des fibres ligneuses, qui fait la force d'une pièce de bois. Les nœuds sont les prolongements des branches au travers du bois parfait

dépuis les points où elles ont commencé à se former; ces nœuds augmentent de grosseur, à mesure que de nouvelles couches végétales les enveloppent en même temps que le tronc. Si les branchages ont crû avec l'arbre jusqu'au moment de son exploitation, les nœuds sont formés de bois parfait; ils se trouvent intimement liés au corps de l'arbre; les fibres du tronc sont seulement détournées de la direction générale, et les nœuds, s'ils sont rares, nuisent peu. Mais si la branche qui a donné lieu à un nœud a été supprimée pour une cause quelconque, n'ayant que peu d'années d'existence, le nœud que son accroissement avait formé se trouve souvent renfermé dans le nouveau bois qui l'a recouvert, et il peut être une cause de détérioration, parce qu'ordinairement ce nœud meurt, quoiqu'il se trouve enveloppé par le nouveau bois; et s'il est atteint d'humidité, il devient un centre de pourriture qui se propage dans le reste du bois. Il est donc prudent de sonder les nœuds, d'en extirper tout le bois mort et même de lever à la scie toute l'épaisseur du bois qui en est traversé.

En général, pour les essences de nos forêts, la multiplicité des nœuds sur une pièce de bois annonce qu'elle provient plutôt des branches que du tronc de l'arbre.

Le bois *gélif* est produit par les gelées pendant les rudes hivers. Nous avons déjà parlé de la cause de la gélivure; il nous suffira d'ajouter que le bois *gélif* est regardé comme très-vicié: d'abord, parce que l'adhésion latérale de ses fibres est détruite ou au moins fort altérée, ce qui diminue sa force; en second lieu, parce que de grandes parties de bois se détachent souvent pendant le travail des places où l'on aurait voulu le conserver, et, enfin, parce que ses nombreuses petites fentes retiennent l'humidité et peuvent donner lieu à la pourriture.

Le bois *gélif entrelardé* est un mélange de parties d'ambier gelé ou mort, et de bois sain et vif, le tout entremêlé de fentes nombreuses. Il est aisé à reconnaître par une sorte de marbrure qui se découvre en le coupant. Le bon bois enveloppe la partie viciée qui occupe quelquefois le quart de la partie du tronc que la gélivure a attaquée. Le mélange du bois mort et du bon bois a lieu très-souvent par très-petites parties. Ce vice, qui doit faire rejeter une pièce de bois des travaux, résulte, comme nous l'avons déjà dit, de plusieurs fortes gelées et de dégels survenus successivement.

Les bois *gercés* sont ceux qui présentent de nombreuses ruptures des fibres perpendiculairement à leur longueur; ce défaut vient souvent du hâle et d'un dessèchement subit de la surface. Lorsqu'au-dessous des gercures qui ne pénètrent que peu profondément le bois est sain et présente

tous les symptômes d'une bonne qualité, on peut l'admettre pour les travaux. Mais si les gerçures sont profondes et que les petits éclats qui en résultent soient mous, il est à craindre que le bois soit passé, qu'il provienne d'un arbre sur le retour; c'est le cas de l'examiner avec soin, et, dans le doute, il est prudent de le rejeter de la construction des charpentes.

Le bois *fendu* présente de longues fissures dans le sens du fil, qui pénètrent profondément et vont quelquefois jusqu'au cœur; ces fentes proviennent d'une dessiccation trop rapide. Quelques personnes prétendent que cela vient de la bonne qualité du bois et prouve sa force; c'est une erreur, car les bois mous se fendent également. La désunion d'une partie des fibres d'une pièce de bois nuit certainement à sa force; elle tend à partager une pièce en plusieurs parties qui ne peuvent avoir, en somme, la même force que la pièce entière. Ce n'est pas, du reste, une raison pour faire rejeter les pièces fendues, et lorsque ce vice ne les affecte que légèrement, on peut les employer dans leur entier, en disposant d'ailleurs les principales fentes de telle sorte qu'elles nuisent le moins possible à leur force. Lorsque les fentes sont profondes et trop nombreuses, et qu'elles altèrent d'une manière trop considérable les pièces de bois, il faut refendre ces pièces, et pour en tirer le meilleur parti, on fait passer les traits de scie précisément par les principales fentes. Les pièces de petits équarrisages qu'on en tire sont ordinairement d'une très-bonne qualité, parce que, lorsque les fentes sont assez grandes pour déterminer un tel parti, elles sont peu nombreuses, et le bois des pièces débitées n'est pas fendu et très-serré.

Ce vice est, au surplus, un avertissement de ne pas compter sur une résistance égale à celle qu'aurait une pièce de bois si elle n'était pas fendue.

Le bois *roulé* ne doit pas se rencontrer dans le commerce des bois de charpente, attendu que, lorsqu'on abat un arbre qui donne dans une de ses sections perpendiculaires au fil du bois le moindre signe de ce vice, il doit être abandonné au chauffage, à moins qu'il n'y ait possibilité, dans l'équarrissement ou dans le débit à la scie, de supprimer tout le bois qui serait roulé ou qui serait sur les mêmes fibres, parce que la roulure s'étend souvent fort longuement, quoiqu'elle cesse d'être sensible à la vue.

Les bois *tordus* doivent également être rejetés comme vicieux, parce que leurs fibres, ne se dirigeant point en ligne droite, elles sont plusieurs fois coupées par les plans d'équarrissement, et qu'on ne peut y faire aucune coupe suivant le fil du bois, disposition qui est une des conditions de la solidité des assemblages.

Le bois *en retour* provient d'arbres qui étaient eux-mêmes en retour lorsqu'on les a abattus. C'est un principe de dépérissement qui commence lorsque l'arbre est sur pied, et qui continue ordinairement après qu'il est abattu et même mis en œuvre. Quoique le bois en retour ne donne pas de signes bien certains de mauvaise qualité, et qu'il soit difficile de le distinguer dès qu'une pièce de bois est soupçonnée d'être atteinte de ce vice, il est prudent de la rejeter des travaux, parce qu'il est certain qu'elle n'aura ni la même force ni la même durée qu'une pièce d'ailleurs égale en tout, mais tirée d'un arbre abattu en pleine vigueur.

Le bois en retour s'annonce, lorsqu'il est sec, par une multitude de petites fentes et gergures en travers des fibres sur les faces d'équarrissement des pièces, par une apparence terne lorsqu'on le coupe. L'affaiblissement de la bonne odeur du bois est également un signe de retour dans celui fraîchement abattu.

Le bois *passé* est parvenu à un degré de détérioration plus marqué que le retour; il n'a plus de ténacité et ne peut supporter les assemblages de la charpenterie.

Le bois *mort* sur pied doit être rejeté de tout travail. S'il a encore quelque ténacité quand l'arbre vient d'être abattu, ce qui est rare, il est certain qu'en peu de temps il tombera en poussière.

Le bois *échauffé* ou *brûlé* doit être rigoureusement exclu de tout travail, et avec d'autant plus de scrupule que c'est un commencement de pourriture qui provient de ce que le bois s'est trouvé placé dans un lieu qui n'a pas permis à sa sève de se sécher, et qui a favorisé sa fermentation, qui ne cesse que lorsque la pourriture est complète.

Il est d'autant plus important de rejeter des travaux les pièces échauffées, que ce vice capital se propage rapidement et se communique aux pièces saines qui se trouvent en contact avec celles qui en sont atteintes, et qu'il entraîne leur détérioration.

On ne doit point se contenter de faire enlever à la hache les parties échauffées que l'on reconnaît sur une pièce de bois qui ne paraît pas entièrement viciée, parce qu'il y a impossibilité d'apprécier la limite du bois corrompu, et que non-seulement il est à craindre de laisser quelque germe de détérioration, mais qu'il est probable que toute la pièce est atteinte d'un commencement d'échauffement, peut-être imperceptible, qui ne peut manquer néanmoins de faire des progrès, malgré qu'on aurait enlevé le bois le plus vicié.

Le bois *brûlé* ne diffère du bois *échauffé* qu'en ce qu'il a atteint un degré de plus de détérioration dont le terme est la réduction en une poussière fine. Les bois arrivés à ces divers degrés de détérioration sont ordinairement attaqués aussi de la *vermoulure*.

La *pourriture* est le dernier degré de détérioration du bois; c'est une décomposition de la matière ligneuse qui résulte des alternatives de sécheresse et d'humidité. Quelquefois même l'une ou l'autre suffit pour la déterminer; la chaleur suffit lorsque le bois se trouve privé d'air avant d'être parvenu à une siccité parfaite. L'humidité seule détermine aussi la pourriture, lorsqu'elle est assez abondante pour amollir la sève et développer sa fermentation.

La *vermoulure* résulte du travail de petits vers qui naissent d'œufs introduits, comme nous l'avons déjà dit, dans le bois; mais les espèces qui attaquent les bois abattus et équarris ou mis en œuvre ne sont pas les mêmes que celles qui se nourrissent du bois des arbres sur pied. Elles pénètrent dans le bois et le vermoulent près de sa surface sans la détériorer, si ce n'est par les trous que laissent les insectes parfaits pour s'échapper et voler déposer leurs œufs dans d'autres bois. Il est à remarquer, au surplus, que la vermoulure n'a lieu que sur des bois ou très-vieux ou qui ont subi un commencement de détérioration, parce que les insectes ont plus de facilité pour les piquer et loger leurs œufs; elle est plutôt une conséquence du mauvais état du bois qu'une maladie particulière. Les premières marques de vermoulure sont des signes certains que la substance du bois est viciée.

La *carie*, dont nous avons déjà parlé, attaque aussi bien les arbres sur pied que les bois conservés dans les chantiers d'approvisionnement et ceux mis en œuvre; mais la *carie sèche* paraît être particulière à ceux-ci. Elle se manifeste à la surface des bois de charpente par des excroissances végétales, telles que les agarics, les champignons et les vesses-de-loup. Cette maladie paraît avoir été connue très-anciennement; elle était désignée sous le nom de lèpre des maisons : sa dénomination de *carie sèche* ne paraît dater que du commencement de ce siècle, époque où elle fit quelques ravages, notamment dans les arsenaux de la marine anglaise (1), et jeta l'alarme dans les autres pays.

La *carie sèche* est une sorte de pourriture; on a cru qu'elle était pro-

(1) *Revue brit.*, juin 1821.

duite par la végétation des parasites que nous venons de nommer; elle se communique et s'étend rapidement, peut-être par l'effet de leur multiplication, mais il est probable qu'une certaine disposition du bois, un commencement d'échauffement, se prête au développement de cette lèpre. Nous aurons occasion d'en parler encore au sujet de la conservation des bois.

Les bois mis en œuvre sont sujets à être attaqués des mêmes maladies que ceux conservés en magasin, et souvent même, les vices qui se manifestent dans les bois mis en œuvre ne sont que le développement de ceux qu'ils avaient contractés avant que l'outil du charpentier les eût façonnés. On conçoit donc qu'on ne saurait être trop scrupuleux sur le choix des bois qu'on admet pour faire partie des constructions; et si, par malheur, quelques pièces vicieuses ont échappé à l'investigation qui doit précéder la mise en chantier, ou si quelque détérioration se déclare dans quelques pièces d'une construction, on doit se hâter de procéder à leur remplacement. Je ferai remarquer à cet égard qu'une charpente d'une grande importance par son étendue et la dépense de sa construction serait parfaite, si en outre des conditions imposées pour le but qu'elle doit remplir, elle présentait toute facilité pour le remplacement de l'une quelconque de ces pièces qui viendrait à manifester des détériorations capables de compromettre la solidité de la construction et la conservation des autres bois.

Les bois conservés en approvisionnement et ceux mis en œuvre sont depuis nombre d'années attaqués, à Rochefort, par un insecte qui paraît y avoir été apporté dans des bois de construction par un bâtiment venu d'Afrique où ce même insecte exerce les plus grands ravages. Il est connu sous le nom de *termite*; il vit en société organisée à peu près comme celles des fourmis (1), il forme des nids d'où il dirige de petites galeries maçonnées, même sur les murailles des édifices, pour atteindre les boiseries et les charpentes, et s'y loger. Les *termites* dévorent l'intérieur du bois qu'ils réduisent en poussière, ils ne laissent qu'un épiderme qui conserve l'apparence entière de leur surface, et les fibres nécessaires au soutien de leur travail, qu'ils n'abandonnent que lorsqu'il n'y a plus de pâture; mais,

(1) Les *termites* sont aussi appelés *termes*, *fourmis blanches*, *poux de bois*, *vagabondes*, *carias*.

en très-peu de jours la destruction totale du dedans des plus fortes pièces est opérée avant qu'on ait pu s'en apercevoir; elle ne se manifeste que par leur rupture. On sera moins étonné d'une dévastation si rapide lorsqu'on saura que les femelles de ces petits insectes pondent jusqu'à quatre-vingt mille œufs en vingt-quatre heures, et que par conséquent les termites doivent être innombrables dans leurs nids et dans les pièces de bois qu'ils ont attaquées.

Les bois de construction ont à redouter encore deux autres ennemis, lorsqu'ils sont constamment baignés par la mer. Ils sont attaqués par les vers *tarets* et les *pholades*. Le frai de ces mollusques est transporté par l'eau de mer, il s'attache à tous les bois qu'il rencontre. Chaque petit *taret* s'insinue en faisant un imperceptible trou, sa tête armée d'une sorte de casque composé de deux valves ou coquilles très-dures en forme de tarière, lui sert à ronger le bois; le trou s'agrandit à mesure que le ver augmente de volume, il forme ainsi un tube qu'il garnit d'un enduit calcaire qui l'a fait nommer *ver à tuyau*, et il parcourt le bois depuis le niveau du fond jusqu'à celui de l'eau. Dans une pièce verticale, dans un pieu, par exemple, chaque *taret* monte et descend suivant le fil du bois, sans offenser la surface et sans nuire à l'innombrable quantité d'individus de son espèce qui rongent en même temps que lui; il ne termine son travail et sa vie que lorsqu'il ne reste plus rien à détruire entre les niveaux dont nous venons de parler, qui sont les limites de ses ravages.

Un an suffit pour qu'un pieu de 14 à 16 centimètres de diamètre soit complètement ruiné entre ces deux limites; en deux années les plus grosses pièces sont hors de service. Les plus petits bois de fascinage ne sont pas à l'abri du ravage de ces vers. Ce sont eux qui sont si funestes aux digues de la Hollande et en général à tous les travaux en bois qu'on fait à la mer.

Les *pholades* sont des coquillages. Chaque *pholade* est contenue dans deux valves principales dont le mouvement lui sert à approfondir sa loge et à l'élargir à mesure qu'elle augmente en grosseur. Les *pholades* attaquent le bois plus rarement que les *tarets*, leur travail est aussi plus lent, mais il n'est pas moins pernicieux pour les bois auxquels elles s'attachent (1).

(1) Les *pholades* se logent aussi dans les roches des côtes et dans les pierres des constructions maritimes. Celle spécifiée sous le nom de *pholas-pusilla*, qui habite les mers de l'Inde, ne vit que dans le bois.

§ 5. *Qualités des bois propres aux travaux.*

On doit conclure de tout ce qui précède que les pièces de charpente, pour être admises dans une construction importante, indépendamment des dimensions qui leur sont nécessaires pour l'emploi qu'on veut en faire, doivent être de bonne qualité, en bois sec, sain et parfait, abattu au moins depuis trois ans, provenant d'un bon sol et d'arbres coupés en bonne saison. Elles doivent être de droit fil; leur rectitude ne doit pas résulter du travail de la hache ou de la scie, mais bien de celle de leurs fibres qui doivent d'ailleurs être lisses, sans ondulations ni tresses, et qui ne doivent être ni déviées, ni interrompues par de mauvais nœuds, ni aucune fracture quelconque. Les bois qu'on veut employer dans les charpentes doivent être surtout exempts des maladies et détériorations qui ont été précédemment signalées.

Les vices du bois affectent les formes des pièces et la disposition de leurs fibres, ou ils détériorent la substance ligneuse.

Les vices de la première espèce n'ont d'importance le plus souvent que sous le rapport du travail ou des fonctions que l'on veut faire remplir aux pièces. On peut, dans quelques cas, employer ces pièces lorsqu'il n'en résulte pas de grands inconvénients, et lorsque l'emploi qu'on veut en faire permet de les réduire à de plus petites dimensions par la suppression des parties difformes; quelquefois même certaines difformités s'ajustent au besoin du travail. Les pièces courbes sont dans ce cas, et elles sont souvent recherchées et préférées avec raison à celles auxquelles il faudrait donner artificiellement diverses courbures.

Quant aux vices qui attaquent la qualité du bois et qui peuvent influer sur sa conservation, aucune considération ne peut déterminer à admettre les pièces qui en sont affectées dans les travaux qui ont de l'importance, ni même dans les travaux les plus ordinaires. Il est toujours mal entendu de s'exposer aux suites que les vices du bois peuvent avoir, et l'économie du moment ne peut compenser les risques auxquels on s'expose pour l'avenir.

Parmi les vices de qualité qui affectent seulement quelques parties d'une pièce de bois, il en est pour lesquels on peut se contenter de supprimer ces parties. Le bois de charpente étant une matière précieuse, surtout lorsqu'il est sous de fortes dimensions, plutôt que de rejeter une belle pièce parce qu'elle est affectée de quelque vice local, dont la suppression est facile et assure la conservation de la partie saine, on peut enlever la partie viciée;

mais au lieu de la faire sauter en éclats avec la hache, il est mieux de la séparer à la scie, afin d'en tirer parti. Ainsi, par exemple, l'aubier qui doit être rejeté des constructions définitives et durables, peut être utilisé dans des travaux provisoires pour lesquels il est inutile de consommer des bois de bonne qualité, et lorsqu'on doit équarrir une pièce en grume dans les chantiers, il y a avantage d'enlever l'aubier en faisant l'équarrissement à la scie. Il en est de même de quelques vices locaux qui peuvent n'atteindre le bois qu'à peu de profondeur, comme les nœuds morts. Ces vices doivent être sondés pour s'assurer jusqu'où ils pénètrent et juger jusqu'à quel point il convient d'admettre ou de rejeter les bois qui en sont affectés. Pour sonder ces vices, on emploie la tarière, la hache, la besaiguë, le ciseau, le bédane, et l'on extirpe tout le bois vicié en suivant les contours qu'il affecte.

On peut alors mesurer la profondeur du mal, et la moindre épaisseur de bois qu'on peut faire lever tout le long de la pièce avec la scie pour qu'elle ne soit plus formée que de bois sain. L'épaisseur de la levée peut être plus grande que la profondeur du sondage; elle dépend de la moindre dimension qu'il faut conserver à la pièce principale, et du moyen qu'on a d'utiliser la levée qui doit être faite.

Dans quelques cas, cependant fort rares, lorsqu'en faisant le sondage d'un vice nuisible à la conservation d'une pièce d'une forte dimension, on n'a pas été obligé de creuser trop profondément pour atteindre le terme du mal, si l'on a la certitude que la pièce n'en est pas sensiblement affaiblie et qu'elle peut remplir encore le service qu'on en attendait, on peut l'employer dans ses dimensions et sans faire aucune levée. Après avoir extirpé jusqu'à la moindre parcelle du bois vicié et bien équarrir le trou du sondage, on le bouche avec un morceau de bois sain et très-sec que l'on ajuste avec soin, que l'on chasse avec vigueur et que l'on peut coller avec un mastic résineux; mais on doit être très-réservé pour faire usage de ce moyen, et ne l'employer que lorsqu'il y a impossibilité de remplacer la pièce dont il s'agit par une pièce parfaite.

La percussion est un moyen d'éprouver et de sonder les pièces de bois qui ne présentent point extérieurement de signe de détérioration intérieure. On les élève sur deux chantiers, puis on les frappe avec une masse; on peut être certain, si elles ne sont pas sonores, qu'elles renferment quelques défauts telles que des cavités provenant de vermoulture ou de roulure, des points de pourriture ou interruptions des fibres, des fentes et gerçures recouvertes par du bois formé après les accidents qui les ont

produites; on peut même, avec un peu d'habitude et en les frappant à diverses places, découvrir assez exactement le siège du vice, à moins que la totalité du bois n'ait perdu sa qualité sonore par un commencement d'échauffement et de pourriture, ce que l'on reconnaît, comme nous l'avons déjà dit, à sa couleur et à son odeur échauffée et désagréable, en faisant enlever quelques copeaux pour rafraîchir sa surface.

Lorsqu'on s'est assuré, comme nous venons de le dire, qu'une pièce de bois renferme quelque vice, il est prudent de ne pas l'employer entière quelque belle qu'elle puisse être d'ailleurs, parce qu'il y a impossibilité d'apprécier l'étendue actuelle de ce vice et sa nature, ni de prévoir quelles suites graves il peut avoir, et à quels accidents il peut donner lieu. Le plus sûr, c'est de faire débiter toute pièce douteuse et de n'employer, s'il y a lieu, que ses parties assez saines pour garantir un bon service.

C'est, au surplus, aux constructeurs habiles à juger les tolérances qu'ils peuvent se permettre dans le choix des bois qu'ils font mettre en œuvre; mais ils ne doivent jamais perdre de vue que les bois parfaits doivent être préférés et qu'ils sont même les seuls qu'on doit admettre dans les travaux, et que toute tolérance sur la qualité de la substance ligneuse, quels que soient d'ailleurs les avantages d'économie ou de temps qui devraient en résulter, ne pourrait être que funeste à la solidité et à la durée des édifices dans lesquels les bois tolérés seraient admis.

CHAPITRE III.

**EXPLOITATION, ÉQUARRISSEMENT ET DÉBIT DES BOIS
DE CHARPENTE.**§ 1. *Exploitation.*

Les différents modes de reproduction des arbres déterminent les différents systèmes d'exploitation et d'aménagement des forêts et même des arbres plantés isolément et en alignement.

L'exploitation se fait par *coupes générales*, par *éclaircies* ou par *coupes réglées*, suivant que les forêts sont en futaies ou en taillis, et qu'elles ont atteint en totalité ou dans quelques-unes de leurs parties, ou pour quelques sujets seulement, le maximum qu'on peut espérer de leur végétation.

Dans l'exploitation par coupe totale ou générale d'une forêt, tous les arbres, sans distinction de force, sont abattus. On commence à la lisière de la forêt et à proximité des routes qui la traversent; on opère avec le plus grand ordre pour ne point faire d'engorgements qui gêneraient l'exploitation et obstrueraient les issues. On procède de différentes manières, selon le but qu'on se propose. Ainsi, lorsqu'on veut détruire complètement la forêt et défricher le sol pour le livrer à un autre genre de culture, on arrache jusques aux racines, et pour certaines espèces d'arbres, on a soin de n'en laisser aucune, même des plus petites; tandis que, si l'on veut convertir les futaies en coupes réglées et taillis, on coupe les arbres près de terre et au-dessus du collet qui sépare la tige de la souche qui reste en terre, et qui doit produire le nouveau bois, comme nous l'avons décrit précédemment.

Dans la coupe par éclaircies, on se contente d'abattre seulement les arbres qui ont atteint le terme de la croissance utile, ou que l'on regarde comme suffisante pour l'usage auquel on les destine.

Dans l'exploitation en taillis, qui se fait par coupes réglées, ainsi nommées parce qu'on les renouvelle au bout d'un certain nombre d'années, on coupe tout le bois, à moins qu'il n'y ait lieu de réserver çà et là sur les souches, les plus belles pousses pour former ce qu'on appelle des *bali-*

veaux. Les coupes réglées se font tous les cinq ou sept ans, jamais au-delà de vingt-cinq ou trente. Une forêt exploitée en coupe réglée est ordinairement partagée en quartiers, de façon que chaque année il y ait à effectuer la coupe du bois d'un certain nombre de ces quartiers, et que tous les quartiers soient coupés à leur tour.

La coupe ou l'abattage des arbres peut être fait de plusieurs manières :

1° On abat un arbre avec sa souche séparée des racines ;

2° On arrache un arbre avec sa souche et toute ses racines ;

3° On coupe un arbre au-dessus de sa souche à coups de hache ou à la scie, soit qu'on ait l'intention d'arracher la souche ou de la laisser pour la production du taillis.

Pour pratiquer la première méthode, on déblaye la terre autour de la souche de l'arbre qu'on veut abattre, assez profondément pour qu'on puisse couper avec la hache toutes les racines qui la retiennent ; les terres déblayées sont jetées tout autour de l'excavation, après que les racines sont coupées à la hache ou à la scie, suivant que cela est plus commode, l'arbre est couché du côté où il doit faire le moins de dégâts sur les arbres voisins. C'est au moyen de cordages qu'on le fait tomber et qu'on dirige sa chute ; il enlève avec lui sa souche en tombant. Lorsqu'on peut faire un déblai suffisant, il y a avantage de temps à couper les racines avec une scie. L'arbre étant abattu, on rejette la terre dans le trou laissé par la souche pour s'en débarrasser et qu'elle ne gêne point les excavations qu'il est nécessaire de faire pour dégager les racines.

On abat aussi les arbres en les pivotant, ce qui ne peut s'appliquer qu'aux espèces qui ont un pivot ou grosse racine qui s'enfonce verticalement dans la terre et très-profondément ; pour cela, on ne déblaye autour de la souche que jusqu'à la profondeur nécessaire pour couper les racines latérales, de telle sorte que l'arbre ne soit retenu verticalement que sur son pivot ; passant alors au-dessous de la souche des chaînes ou de très-forts cordages, on agit dans une direction verticale au moyen de crics et de leviers pour extirper le pivot ; puis on couche l'arbre à terre, comme nous venons de le dire. La méthode de pivoter est avantageuse lorsqu'on veut substituer un taillis à une futaie des espèces d'arbres qui poussent des jets sur les racines laissées en terre, parce qu'alors le sol est débarrassé des vieilles souches qui ne fournissent que des sujets languissants ; elles sont remplacées par des racines qui présentent plus de développement, qui sont plus vigoureuses et donnent, par conséquent, des taillis plus touffus et plus forts.

L'arrachement des arbres, en les pivotant, ne peut pas se pratiquer pour ceux qui ne repoussent que sur leurs souches et nullement sur leurs racines; de ce nombre sont le chêne, le hêtre, le charme, etc.

Pour arracher un arbre avec toutes ses racines, on dégage les principales d'une partie de la terre qui les enveloppe, on passe en-dessous des cordages ou des chaînes, et, au moyen de leviers, de vis, de crics et de treuils, on les soulève les unes après les autres, en commençant par les plus faibles. On passe ensuite d'autres cordes et d'autres chaînes sous la souche qu'on enlève de la même manière, et l'on abat toujours l'arbre du côté qu'on a choisi. Cette méthode est pratiquée avec avantage lorsqu'il s'agit de faire un défrichement pour convertir le sol de la forêt en terres labourables, parce que le fond se trouve complètement purgé de racines qui seraient nuisibles au mouvement de la charrue.

On peut aussi soulever les souches par le moyen de la poudre. Il faut, pour cela, déblayer assez de terre autour d'une souche et de ses racines pour diminuer la résistance du sol; on place ensuite sous la souche un petit mortier de métal à large base, que l'on pose sur un plateau de bois encore plus large; après qu'on a mis la charge, on recouvre le mortier par une plaque épaisse en fonte, et l'on chasse une quantité suffisante de coins en dessus de cette plaque pour que l'effort de la poudre se porte directement sur la souche; on met le feu au moyen d'une mèche lente qui donne le temps de s'éloigner. Si l'arbre n'est pas immédiatement renversé, au moins l'explosion avance considérablement le travail.

La troisième méthode est la plus usitée, elle est la seule praticable pour certaines espèces qui ne drageonnent point, quand on veut que les souches produisent un taillis. Le bûcheron fait au pied de l'arbre qu'il doit abattre et avec la cognée une profonde entaille du côté où il veut le faire tomber, il fait une seconde entaille du côté opposé et l'approfondit jusqu'à ce qu'elle soit près de joindre l'autre et qu'il ne faille plus qu'un faible effort pour renverser l'arbre. La première entaille doit atteindre beaucoup au-delà du cœur de l'arbre pour que la chute soit déterminée de son côté, et pour qu'il ne se fasse pas au cœur ce qu'on appelle une *lardeire*; c'est un éclat arraché du centre de la souche, qui peut avoir 10 à 15 décimètres de longueur, et qui, par conséquent, laisse dans la souche un creux qui contribue à son dépérissement, parce qu'il est un réceptacle pour les eaux de pluie.

Lorsqu'on abat les arbres à la hache, on a soin de les couper le plus près possible du sol, afin de profiter de toute leur longueur. Cette précaution est utile aussi pour la beauté des jets des espèces qui poussent sur souche,

pourvu qu'on n'offense pas le collet, et l'on évite de faire la coupe en creux sur la souche, vu que l'eau, en s'y amassant, la pourrirait en très-peu de temps. On fait donc en sorte que la coupe de la souche présente une forme saillante, telle que celle d'un dos d'âne ou d'une pyramide, pour rejeter les eaux au dehors.

Hassenfratz pensait que l'abatage des arbres à la scie était impraticable; cependant on l'effectue quelquefois, c'est un très-bon moyen d'économiser la longueur d'un arbre, parce que l'entaille à la hache raccourcit toujours la tige de 4 à 6 décimètres, tandis qu'avec une scie la coupe n'occupe que l'épaisseur du trait de scie. Il est très-vrai que la pratique de cette méthode est assez difficile avec une scie droite, vu que, pour qu'elle soit profitable, il faut que la coupe soit faite très-près de terre, et la position des ouvriers ne serait pas commode, si l'on n'avait pas recours à un expédient très-simple. On creuse entre les racines deux trous assez profonds dans le sol pour placer les ouvriers qui meuvent la scie et pour que leurs mains soient un peu au-dessus du collet. On remédie à la pression que le poids de l'arbre opère sur la scie, dès qu'elle a dépassé la moitié de son diamètre, en chassant fortement des coins dans le trait de scie. On a d'ailleurs soin de faire une amorce de trait de scie, ou une petite entaille du côté opposé, et des cordages latéraux, disposés en haubans, retiennent l'arbre vertical jusqu'au moment où l'on fait agir ceux qui doivent entraîner sa chute. On se sert, pour couper ainsi les arbres sur pied, de la scie dite passe-partout, que nous avons décrite.

La Société agricole de la haute Écosse a donné deux prix à MM. Thom. Jack et Dixon Vallance pour deux machines à couper les arbres sur pied. L'une est une scie entièrement circulaire équipée de telle sorte qu'un pignon, qui lui est joint sur son arbre vertical, reçoit le mouvement par l'engrenage d'une grande roue de champ mue par une manivelle qu'un homme fait tourner. La scie a 0^m,65 de diamètre, la grande roue dentée fait 40 tours par minute et la scie en fait 200; elle avance sur l'arbre au moyen d'un chariot dont le mouvement est déterminé par la même grande roue. Tout le système est retenu à la souche de l'arbre à couper par des clameaux.

La seconde scie est formée d'une lame en arc de cercle de 1^m,30 de développement sur un rayon de 0^m,975. Elle agit sur l'arbre en va-et-vient au moyen du levier qui fait partie de sa monture et se prolonge au delà du centre autour duquel se fait le mouvement. La pression des ouvriers suffit pour enfoncer la scie à mesure qu'elle agit. En couvant le le-

vier, le plan de la scie peut être horizontal, et les ouvriers ne sont pas dans une position incommode (1).

Lorsqu'on coupe les arbres à la scie et qu'on veut conserver les souches pour produire des taillis, il faut polir la coupe à l'herminette; il serait bon même de lui donner une légère pente par la position de la scie, afin de faciliter l'écoulement de l'eau.

Nous avons fait remarquer que, lorsqu'on abat un arbre, on fait choix, avant de procéder, du côté sur lequel on doit le faire tomber. Son inclination naturelle, la disposition de ses branches, sa situation par rapport aux arbres voisins, et la facilité de l'extraction déterminent ce choix, pour qu'il n'en résulte que le moindre dégât possible. Si quelque circonstance déterminait sa chute du côté d'une de ses propres branches qu'on devrait utiliser pour la charpenterie, et dont la rupture pourrait endommager le tronc ou vicier la branche, on doit la séparer d'abord à la hache ou à la scie en la soutenant avec des cordages attachés à d'autres branches, ou à des arbres voisins, vu qu'on ne saurait prendre trop de précautions pour ménager les bois qu'on exploite.

Hassenfratz fait remarquer que la méthode d'arrachement coûte douze fois plus que la coupe à la hache; que l'arrachement, en faisant pivoter, ne coûte que le double, et que par l'une et l'autre méthode on gagne beaucoup sur la longueur de l'arbre; cette augmentation de longueur a quelquefois une valeur qui est 12 à 18 fois celle de l'augmentation de la dépense pour pivoter. La méthode par arrachement doit toujours être préférée toutes les fois qu'il s'agit de défricher, vu qu'il importe, dans ce cas, de profiter de la plus grande longueur des arbres, et qu'on n'a aucun ménagement à prendre pour la reproduction.

Les arbres isolés dans les champs ou en quinconce, ceux des plantations d'agrément ou d'alignement et des routes, sont toujours arrachés avec leurs souches et racines, parce qu'on les remplace par d'autres arbres élevés en pépinières.

Dans quelques provinces, on exploite en hauts taillis, ou taillis sur hautes tiges. Les corps d'arbres sont coupés encore jeunes à la hauteur d'un mètre et demi environ au-dessus du sol, et de nombreux jets poussent à cette hauteur à peu près comme sur des souches coupées à rase terre; on les exploite comme les autres taillis par coupes réglées; on peut même y ré-

(1) *Mémorial encyc.*, t. II. Trans. of the Highl. soc. of Scotland, vol. III.

server des baliveaux. Les corps d'arbres sur lesquels poussent les hauts taillis ne sont point propres aux travaux, parce que leur bois est toujours vicié : les infiltrations de la pluie, occasionnées par les rugosités sans nombre que la coupe des taillis laisse sur leurs têtes, décomposent et pourrissent le cœur, et ces corps d'arbres sont presque toujours creux; ce qui confirme que la végétation n'a lieu que sur la circonférence, par l'accroissement du liber et de l'aubier.

§ 2. Époque de l'abatage des arbres.

Une question fort importante sur laquelle les naturalistes, aussi bien que les cultivateurs forestiers et les constructeurs ne sont pas d'accord, c'est de savoir l'âge auquel il faut abattre les arbres, et même l'époque de l'année qui convient le mieux pour les couper. Duhamel pense que la pourriture affecte les bois, quelle que soit la saison dans laquelle ils ont été abattus. Il observe qu'en Italie on coupe les bois en été, et que cependant ils sont d'une très-longue durée. On les coupe dans la même saison en Espagne. On ne peut pas cependant tirer une règle de ces exemples, vu que l'Italie et l'Espagne ont un climat particulier qui permet une prompte dessiccation de la sève. Hartig, savant forestier allemand, est d'un avis contraire : il se prononce fortement contre la coupe faite en été ou au printemps. On rapporte cependant que le grand-père de Benjamin Pooz, de l'État de Massachusetts, qui avait toujours fait couper les bois dans le déclin de la lune de mars, fut averti en 1812, par un ouvrier intelligent, que s'il voulait attendre pour couper le mois de juin, le bois serait plus difficile à travailler; mais que les objets de charronnage construits avec seraient plus solides et de plus longue durée, ce que l'expérience confirma. D'autres expériences, faites par Joseph Coopez, fermier des bords de la Delaware, paraissent venir à l'appui de cette opinion. Des bois abattus par des soldats anglais en mai 1778, furent employés immédiatement en poteaux et barrières. L'hiver suivant, au déclin de la lune de février, Coopez fit abattre plusieurs chênes de la même espèce et les convertit également en poteaux. Il observa que les clôtures construites avec les bois abattus au mois de mai étaient en bon état au bout de 22 ans, tandis que celles construites avec les bois abattus en février s'étaient trouvées entièrement vermoulues au bout de 12 ans. Il paraît résulter des expériences du D. Rainn, de Tarand, près Dresde, qu'il y a dans l'année une époque où les fibres des arbres parviennent à leur plus grande dureté. Il pense que la

coupe du bois doit être faite à l'époque du plus haut degré de développement de la végétation, pour Dresde, à la fin du mois de mai ou au commencement du mois de juin; d'après cela, il conseille de laisser après la coupe les arbres par terre avec leurs branches et leurs feuilles, afin qu'elles attirent à elles toute la sève qui est restée dans le tronc. Il est à remarquer que cette méthode ne pourrait être pratiquée dans une grande exploitation; car les arbres et leurs branches se trouveraient tellement entrelacés que l'extraction des arbres pour la charpenterie deviendrait fort dispendieuse.

J'ai eu occasion d'employer des bois de chêne abattus en France pendant les étés de 1813 et de 1814. Au bout de trois ans, ces bois s'étaient trouvés dans un état d'échauffement tel qu'il avait été impossible de les utiliser pour des constructions stables; les moins détériorés d'entre eux ne purent servir que pour des travaux provisoires, des échafaudages, des pilots et des palplanches pour batardeaux d'épuisement.

En dernier résultat, le meilleur parti est de continuer à suivre les habitudes établies dans les divers pays où leur long usage en a démontré l'efficacité. Il est positif que, dans nos climats, les bois abattus, sinon en hiver au moins dès que la sève a cessé de monter, c'est-à-dire après la chute des feuilles, et avant qu'elles recommencent à se montrer, sont bons et d'une longue durée. Les plus anciennes de nos constructions, les mieux conservées, ont certainement été exécutées avec des bois coupés à la même époque de l'année que nous choisissons encore aujourd'hui, et qui nous a été indiquée par les traditions les plus anciennes, vu que les bûcherons n'ont jamais été gens à se laisser séduire par des innovations, et la saison qui suit la chute des feuilles a toujours été celle de la coupe des bois. Dans les exploitations, il y aurait imprudence à attendre plus tard, vu qu'il est indispensable que l'opération de l'abatage soit terminée avant le retour de l'ascension de la sève. Cette époque de l'année cadre merveilleusement d'ailleurs avec les autres occupations de l'homme de campagne; car elle permet, pour la coupe des bois, les premières façons qu'on leur donne, et pour leur transport, de disposer des bras et des voitures attelées qui ne sont plus employés aux travaux de la culture et des récoltes, dont la plus grande activité est dans l'été, et que les froids suspendent.

D'autres questions relatives à la qualité des bois résultant du mode d'exploitation ont été discutées par les savants et les cultivateurs forestiers. Duhamel et Buffon ont démontré, comme nous l'avons déjà vu, que l'aubier se convertit en bois parfait; ils ont fait de cette découverte une application qui aurait été de la plus grande utilité, si l'expérience eût

confirmé complètement les résultats qu'ils annonçaient. Ils proposaient de donner aux arbres plus de valeur, en augmentant le volume de leur bois utile pour la conversion de leur aubier en bois parfait, au moyen de leur écorcement sur pied une année avant de les abattre. Par ce procédé, on met l'aubier à découvert, et le temps indiqué suffit pour lui donner la dureté, la pesanteur et même l'apparence du bois parfait. Il en résulterait, si l'aubier était réellement converti en bois parfait, qu'il ne serait plus nécessaire de le rejeter et de l'abattre de toutes les pièces de bois de construction, et qu'on ferait une grande économie de bois. Mais l'efficacité de ce procédé a trouvé de nombreux contradicteurs, entre autres Becker, inspecteur des forêts à Rostock, et Laurop, grand maître des forêts du duché de Berg, qui reprochent à Buffon et aux Duhamel de s'être trompés dans les conclusions qu'ils ont tirées d'expériences qu'ils n'auraient pas faites avec assez de soin. Ils attribuent la plus grande pesanteur et la plus grande ténacité des chênes écorcés par Buffon et les Duhamel à ce que le bois des arbres mis à l'épreuve n'était pas suffisamment desséché.

M. Baudrillard, qui a écrit aussi sur le même sujet, assure que l'écorcement a l'inconvénient de renfermer dans les arbres des sucres fermentescibles qui donnent lieu à la pourriture par la facilité avec laquelle ils se dissolvent à l'humidité.

Ce qui doit, en outre, faire rejeter cette méthode, malgré l'autorité des noms qui lui avaient attiré dans le commencement de nombreux partisans, c'est la cherté de l'opération. A la vérité, M. de la Bouillay, intendant des mines, essaya de faire enlever, au printemps, une couronne d'écorce au pied d'un grand nombre de chênes, et d'y faire percer un trou de tarière pénétrant jusqu'au centre, ce qui dut diminuer de beaucoup la dépense. Au bout de trois mois, les arbres furent abattus et employés vingt jours après; leur bois ne donna aucun signe d'altération. Mais un grave inconvénient de l'un et l'autre genre d'écorcement, c'est de faire perdre au bois son élasticité. Il ne peut plus être courbé par les moyens ordinaires, comme l'a expérimenté le comte Gallovin, amiral russe; ce qui provient sans doute de ce que cette opération produit une espèce de mort sur pied, puisque le travail de la végétation qui paraît se faire le long du liber et du cœur à la circonférence, ne peut plus être le même lorsque l'arbre est dépouillé de son écorce que lorsqu'il en est revêtu, et que, par conséquent, le changement qui s'opère dans l'aubier n'est pas une véritable conversion en bon bois.

Un autre inconvénient très-grave qui se joint à ceux dont nous venons de parler, c'est que l'espèce de mort sur pied résultant de l'écorcement ou de l'incision d'une couronne au pied de l'arbre, détruit complètement le système de la conversion des futaies en taillis, fondé sur la prompte production des pousses nouvelles à la circonférence des souches après la coupe. La végétation cesse après l'écorcement, de telle sorte que les souches meurent en même temps que le corps de l'arbre.

On a encore proposé, pour diminuer l'abondance de la sève dans les arbres avant de les abattre, de les cerner par une entaille immédiatement au-dessus de terre, en ne les laissant adhérer à leur souche que par un pivot à peu près cylindrique et réduit au diamètre seulement nécessaire pour les soutenir, afin que, n'ayant plus que cette étroite communication avec leurs racines, les parties de la sève non consommées par la production du bois et des feuilles, puissent s'échapper. Les arbres, ainsi pivotés, font voir effectivement un écoulement assez abondant d'eau. Mais cette pratique, d'ailleurs assez difficile, a également l'inconvénient de détériorer les souches et présente de graves dangers, vu que, pour qu'elle soit efficace, il faut que le pivot soit réduit à un petit diamètre, et l'on doit craindre qu'il soit facilement rompu. On conçoit quel onéreux désastre un fort coup de vent pourrait occasionner dans une forêt dont l'exploitation aurait été ainsi préparée. On obtiendrait probablement le même écoulement de la sève, s'il était possible de placer les arbres verticalement et comme en faisceau, immédiatement après qu'ils seraient coupés; mais la dépense qu'une pareille opération occasionnerait, empêchera toujours qu'elle soit pratiquée.

§ 3. *Équarrissement des bois.*

Opérations préliminaires.

La forme arrondie que la nature donne aux tiges des arbres n'a pu convenir qu'aux premières constructions et tant que la hache n'a pas été commune dans la main de l'homme. Dès que les outils sont venus au secours du travail, les moyens de jonction des pièces de bois se sont multipliés et ont nécessité pour leur perfection l'équarrissement des bois; opération par laquelle on tire d'un corps d'arbre une pièce prismatique rectangulaire, forme qui est la plus simple, la plus aisée à tailler en même temps qu'elle est la plus convenable, soit qu'il s'agisse de juxtaposer les bois, soit qu'on veuille par leur superposition faire concourir la pesanteur à la stabilité

des constructions, soit enfin qu'on ait à les combiner dans divers sens par des assemblages d'une facile exécution.

L'équarrissement a donc pour objet de préparer les corps d'arbres pour les constructions; et tous les bois de charpente, à l'exception de ceux qu'on réserve pour être employés en pilotis, sont équarris avant d'être livrés au travail du charpentier.

En équarrissant un corps d'arbre, on doit se proposer d'en tirer le parallépipède le plus volumineux possible, ou bien un parallépipède dont les dimensions soient en rapport avec l'emploi qu'on veut en faire; et dans tous les cas on cherche à perdre le moins de bois possible en copeaux. Il faut, pour parvenir à ce résultat, imaginer dans le corps de l'arbre les plans qui se rencontrent à angle droit et qui déterminent la forme du parallépipède qu'on veut en tirer; on enlève tout le bois qui se trouve situé extérieurement à ce parallépipède, de telle façon qu'après le travail, la pièce de bois obtenue ait la forme et les dimensions qu'on voulait lui donner.

L'équarrissement est fait le plus ordinairement à la forêt par des bûcherons équarrisseurs qui ne s'occupent que de ce genre de travail dans les grandes exploitations, et que l'habitude de pratiquer cet art rend très-habiles pour juger à la simple vue le meilleur parti qu'on peut tirer d'un corps d'arbre quelquefois très-difforme.

Le commerce des bois fournit ordinairement aux charpentiers les bois équarris qu'ils emploient dans leurs travaux; mais il arrive fréquemment que les maîtres achètent des bois ronds ou en grume, qu'ils font abattre des arbres isolés ou même qu'ils entreprennent des exploitations; il faut donc qu'un charpentier connaisse les procédés de l'équarrissement. D'ailleurs on adopte aujourd'hui, avec raison, la méthode de refaire les faces des pièces équarries grossièrement à la forêt pour les dresser de telle sorte qu'elles soient polies et bien planes, que les bois aient des dimensions exactes et que leurs arêtes soient vives et sans défaut. Or, comme les procédés que l'on suit pour obtenir ces résultats ne diffèrent de ceux qu'on pratique à la forêt que par le soin et l'exactitude qu'on y apporte, il faut qu'un ouvrier charpentier les connaisse.

Règle générale, toutes les fois qu'on veut travailler une pièce de bois, il est indispensable de l'établir sur deux autres pièces au moins que l'on nomme *chantier*, et sur un plus grand nombre, lorsque la longueur de la pièce ou sa pesanteur peuvent lui faire prendre une courbure sensible.

L'établissement d'une pièce de bois sur des chantiers, a pour objet

d'obtenir sa stabilité pendant le travail, de lui donner la position qui convient, au moyen de cales faciles à placer, et de l'élever, afin que l'on puisse porter les mains et les yeux sur toutes les parties, et que les outils puissent parcourir ses faces sans rencontrer le sol.

A la forêt, dans les grandes exploitations, les bûcherons se servent de tronçons d'arbres entaillés pour chantiers; mais dans les ateliers ces tronçons n'auraient point la stabilité désirable, et l'on ne se sert que de chantiers équarris, qui ne sont d'ailleurs que des rognures ou des bois de démolition qu'on ne saurait utiliser autrement et qu'on réserve pour cet usage.

Les chantiers doivent être établis de niveau, suivant leur longueur, et de niveau aussi dans le sens de leur largeur, ce que l'on appelle *de devers*. Ceux qui soutiennent une même pièce de bois doivent être parallèles entre eux ou perpendiculaires à la pièce et de même niveau, c'est-à-dire que leurs faces supérieures doivent être dans un même plan horizontal. Nous aurons occasion de décrire la manière dont on procède pour obtenir ce résultat. Ces premiers détails suffisent pour ce qui regarde l'équarrissement des bois.

Pour équarrir un corps brut, c'est-à-dire pour en tirer un autre corps terminé par des faces planes qui se rencontrent d'équerre, il est indispensable d'avoir un moyen de guider l'outil qui doit mettre à découvert les faces planes du corps équarri, qui est un parallépipède. Il faut donc représenter, par rapport aux formes du corps brut, la disposition de ce parallépipède; c'est ce qu'on obtient en marquant sur la surface du corps brut les traces de prolongements des plans à tailler. Le choix de la position du parallépipède le plus volumineux, ou de celui dont le rapport des dimensions d'équarrissage est donné, serait extrêmement difficile, s'il n'était pas évident, pour le cas de l'équarrissement des bois, que la plus grande des trois dimensions du parallépipède doit être dans le sens de la longueur de l'arbre, et que la forme d'un corps d'arbre étant à peu près cylindrique, le parallépipède rectangle doit être un prisme dont les deux bases sont perpendiculaires à l'axe de l'arbre. Ces deux bases s'obtiennent au moyen d'un trait de scie à chaque bout, suivant des plans sur lesquels il est aisé de déterminer la position des quatre autres faces d'équarrissement par leurs traces, elles forment sur chaque coupe un rectangle. C'est donc ce rectangle qu'il s'agit de déterminer, soit qu'on veuille obtenir une pièce du plus grand volume possible, ou une pièce dont les dimensions d'équarrissage soient dans un rapport donné.

Nous supposons d'abord un corps d'arbre droit et rond. Il est évident

qu'attendu qu'un arbre est un peu conique, tandis que la pièce qu'on veut équarrir doit être un prisme dont la longueur est limitée par celle de l'arbre, c'est sur le bout qui a le plus petit diamètre que l'on doit chercher le rectangle qui représentera l'équarrissage que pourra avoir la pièce qu'on veut obtenir, pour qu'elle ait le plus fort volume possible, que l'aubier soit supprimé et que toute la pièce soit en bois parfait. Le rectangle qui détermine l'équarrissage doit être inscrit dans le cercle qui sépare l'aubier du bois parfait. Cette condition n'est cependant pas constamment observée à la forêt, par la raison qu'il n'est pas nécessaire que les bois équarris pour le commerce soient à vive arête, vu que, dans le transport, les coups que les pièces peuvent recevoir ne manqueraient pas de les dégrader et de diminuer leur valeur, si les dégradations portaient sur le bois parfait. On peut donc se contenter, à la forêt, d'un équarrissement qui laisse un peu d'aubier, sauf à le supprimer en formant avec la cognée un chanfrein sur chaque arête. On fait disparaître ce chanfrein en refaisant les faces des pièces au chantier, pour établir un équarrissage parfait, comme nous l'avons dit précédemment.

Le commerce ne fournit que des bois de charpente carrés, parce que le plus grand rectangle inscrit dans un cercle, fig. 4, planche IV, est un carré $abed$. En effet, si l'on divise ce carré en deux triangles isocèles rectangles et égaux abc , eda , inscrits dans les deux demi-circonférences qui forment le cercle entier, chacun de ces triangles est plus grand que tous les autres triangles abe , eda , moitiés d'un rectangle quelconque $abed$ inscrit dans le même cercle, puisque ces triangles ayant tous même base ae , les hauteurs cb , ed des premiers sont toujours plus grandes que celles mb , nd des deux autres; le carré, $abed$, somme des triangles abe , eda est donc aussi le plus grand rectangle inscrit dans le cercle.

Il en est de même du plus grand rectangle que l'on puisse inscrire dans un quart de cercle $cfbe$, fig. 5, qui est également un carré $abcd$. Les diagonales de tout autre rectangle $abcd$ sont égales à celles du carré $abcd$ qui sont elles-mêmes égales au rayon cb du cercle. Les triangles égaux abd , dca , qui sont tous deux la moitié du carré $abcd$, sont plus grands que les triangles abd' , dca' , qui sont les deux moitiés du rectangle $abcd'$, puisque les triangles ont des bases égales ad , ad' , et que les hauteurs des premiers ob , oc sont toujours plus grandes que celles mb' , nc' des secondes.

La fig. 7 représente le plus petit bout d'un arbre rond sur lequel on distingue le cercle de séparation entre l'aubier et le bois parfait. Le rec-

tangle du plus fort équarrissage de la pièce qu'on doit en tirer, s'obtiendra, en inscrivant un carré $abcd$ dans ce cercle ou qui le dépasse un peu, d'après ce que nous avons dit plus haut. On détermine le centre c du contour de l'arbre ou du cercle qui sépare l'aubier, par la méthode géométrique représentée fig. 6, par tâtonnement, ce qui est la plupart du temps aussitôt fait et suffisant. Par ce centre, on trace deux lignes droites qui s'y croisent à angle droit. À partir du centre c on porte sur ces lignes quatre longueurs égales ca, cb, cd, ce , de telle sorte que les pointes a', b', d', e , se trouvent un peu au-delà du cercle de séparation. Ces quatre points sont les angles du carré qui marque l'équarrissage de la plus grosse pièce que l'on puisse tirer de l'arbre qu'il s'agit d'équarrir, et dont les arêtes ne porteront d'aubier que ce qu'il en faut pour qu'elles puissent être heurtées sans danger pour le bois parfait. S'il fallait que la pièce fût à vive arête et sans aubier, il faudrait prendre les angles du carré précisément aux points où les diagonales coupent le cercle de séparation de l'aubier et du bois parfait.

Mais les arbres ne sont pas toujours exactement ronds; il s'en trouve dont les coupes des bouts présentent des contours elliptiques, comme celle fig. 10. Dans ce cas, le plus fort équarrissage n'est plus donné par un carré, mais par le plus grand rectangle $abcd$ inscrit par l'ellipse de séparation de l'aubier.

Ce rectangle $abcd$, fig. 9, répond pour sa plus petite dimension b e au côté du carré $a'b'c'd'$, inscrit dans le cercle décrit sur le plus petit axe mo de l'ellipse. On sait que la surface de ce cercle est à la surface de l'ellipse mno , comme le petit axe mo de cette même ellipse est à son grand axe np ; on sait, de plus, que le carré $a'b'c'd'$, inscrit dans le cercle, et le rectangle $abcd$ de même largeur, inscrit à l'ellipse, sont entre eux dans le même rapport. Le rectangle est donc à la surface de l'ellipse, comme le carré est à celle du cercle. Conséquemment, le carré $a'b'c'd'$ étant le plus grand rectangle inscrit au cercle, le rectangle correspondant $abcd$ inscrit dans l'ellipse est aussi le plus grand qu'on puisse inscrire dans cette ellipse.

On démontre encore que le carré fg hi circonscrit au cercle, et le carré $ab'c'd'$ qui lui est inscrit, ayant leurs diagonales $gi, b'd'$ sur une même ligne passant par le centre c , les diagonales rt, bd' du rectangle $qrst$, circonscrit, et du rectangle $abcd$ inscrit à l'ellipse, sont sur une même ligne passant également par le centre; et de plus, que la diagonale ae du rectangle inscrit à l'ellipse est parallèle à la diagonale mn du rectangle $mrne$, formé sur les deux demi-axes, ce qui donne le moyen de tracer sur la

coupe elliptique du bout d'un arbre le rectangle du plus fort équarrissage qu'on puisse en tirer.

Soit fig. 10, pl. IV, le plus petit bout elliptique d'un corps d'arbre sur lequel l'ellipse $m n o p$ de séparation de l'aubier est apparente. Ayant tracé aussi exactement que possible les axes $m n o p$, soit tirée la corde $m n$, et par le centre c de l'ellipse un diamètre $a e$ parallèle à cette corde. Les points a, e , où ce diamètre rencontre l'ellipse $m n o p$ sont les sommets de deux angles du rectangle $a b e d$ de plus fort équarrissage, que l'on trace en faisant ses côtés parallèles aux axes de l'ellipse.

Il arrive très-fréquemment qu'il s'en faut de beaucoup que la coupe d'un arbre présente un contour régulier; elle peut être, au contraire, très-déformée, comme celle représentée fig. 8; on n'a plus alors de moyen exact de trouver le carré qui doit guider pour obtenir le plus fort équarrissage; ce n'est que par une sorte de tâtonnement que l'on parvient à le déterminer. On présente successivement sur la coupe des calibres $a' b' e' d'$, $a b e d$ de diverses grandeurs, et l'on établit leurs angles sur la courbe de séparation de l'aubier, en les tournant convenablement; celui de ces calibres qui est le plus grand donne en même temps la dimension et la position du carré du plus fort équarrissage.

Il est rare de trouver des arbres de formes régulières, c'est-à-dire qui soient parfaitement droits, exactement ronds ou elliptiques dans leurs coupes. C'est donc le plus souvent à la sagacité et à l'adresse des bûcherons, qui ont la grande habitude de l'équarrissement, qu'il faut s'en rapporter pour tirer des arbres le meilleur parti. Les entrepreneurs des grandes exploitations accordent un intérêt dans la valeur des pièces équarrées, afin de n'avoir point de pertes à éprouver par l'effet de l'insouciance des ouvriers, qui apportent alors toute leur attention pour donner aux pièces à équarrir les plus fortes dimensions dont les arbres sont susceptibles; sans dépasser les limites convenues pour la tolérance de l'aubier sur les arêtes.

§ 4. *Équarrissement à la cognée.*

Deux procédés sont en usage pour équarrir les arbres. L'équarrissement se fait à la cognée, ou à la scie de long. Nous parlerons d'abord de l'équarrissement à la cognée.

La fig. 1 de la planche IV représente en projection verticale, la fig. 2 en projection horizontale, et la fig. 3 en projection verticale et vu par

le bout un corps d'arbre *A*, établi sur deux chantiers *B*, comme cela se pratique à la forêt. Ces chantiers sont de très-gros rondins, enterrés dans le sol d'environ un tiers de leur diamètre pour les empêcher de rouler; ils sont entaillés carrément dans leur partie supérieure sur une profondeur égale à la moitié de ce même diamètre, et sur une longueur suffisante pour que les plus gros arbres puissent y être encastrés au moins de la moitié de leur diamètre, et retenus au moyen de coins *C* chassés à coups de masse.

La fig. 1, planche V, représente en projection verticale, la fig. 2 en projection horizontale, et la fig. 3 en projection verticale et vu par le bout un corps d'arbre rond *A*, établi sur deux chantiers équarris *B*, comme cela se pratique sur les ateliers ordinaires. Ces chantiers *B* sont posés sur le sol; l'arbre y est calé par des coins *C*. Lorsque l'arbre est d'un très-gros volume, sa pesanteur suffit pour lui donner la stabilité nécessaire au travail; autrement, on retient les chantiers par de forts piquets profondément chassés dans le sol et échevillés ou cloués, et le corps d'arbre est fixé aux chantiers par deux clameaux à chaque bout (1).

Lorsqu'on veut équarrir un corps d'arbre, après l'avoir placé sur ses chantiers, on commence par couper ses deux bouts carrément, c'est-à-dire par deux plans parallèles entre eux et perpendiculaires à l'axe du corps d'arbre, si déjà ils ne l'ont pas été lorsqu'on l'a abattu. On emploie, pour cette opération, la scie dite *passé-partout*, que nous avons représentée fig. 45, planche II.

Avant de fixer le corps d'arbre *A* sur les chantiers, on trace sur ses deux bouts les deux rectangles *abed*, *a'b'e'd'*, qui règlent l'équarrissage et qui doivent se correspondre de telle sorte que leurs côtés homologues soient parallèles, afin qu'ils se trouvent deux à deux dans les faces de l'équarrissage.

De quelque manière que l'on ait procédé pour tracer les rectangles, on doit toujours vérifier le parallélisme dont nous parlons. Pour faire cette vérification, on attache au moyen de deux clous, une règle *D* sur l'un des côtés du rectangle d'équarrissage de l'un des bouts de l'arbre, et une autre règle *E* sur le côté homologue du rectangle de l'autre bout, puis on se recule à une distance suffisante pour borner les deux règles l'une par l'autre, afin de s'assurer si elles se dégauchissent exactement, c'est-à-dire

(1) Les clameaux sont des crampons à deux pointes, dont nous parlerons dans le chapitre relatif au levage.

si elles sont dans un même plan. Dans le cas contraire, on rectifie le tracé de celui des deux rectangles que l'on juge n'être point exact. Mais il est rare, si l'on a opéré avec soin par l'un des moyens que nous allons indiquer, qu'on ait à faire aucune rectification.

Premier moyen. Ayant tracé très-exactement le premier rectangle $a b e d$ qui détermine le plus fort équarrissage sur la coupe du plus petit bout de l'arbre, fig. 7, planche V, et dont le centre est en e , on trace le diamètre $m n$ qui est parallèle aux deux côtés $a b, d e$ du rectangle; dans le cas d'un arbre rond que la figure 7 représente, le rectangle dont il s'agit est, comme nous l'avons vu, un carré.

On attache sur cette coupe avec deux petits clous une règle $D F$, en faisant coïncider très-exactement l'un de ses bords avec le diamètre $m n$. Un compagnon applique sur la coupe de l'autre bout de l'arbre une autre règle; il a soin, quelque inclinaison qu'on fasse donner à cette seconde règle, de la maintenir sur le centre que l'on a déterminé préalablement. On peut planter un clou dans ce centre pour appuyer le bord de la règle.

On se recule suffisamment loin dans la direction de l'axe du corps d'arbre, pour apercevoir en même temps les bouts des deux règles. Alors, en bornoyant, on indique par signes, dans quel sens le compagnon doit incliner la règle qui lui est confiée pour la placer dans le même plan que la première. Dès qu'on a obtenu leur parfaite coïncidence, on fait tracer le long de la règle tenue par le compagnon le diamètre dont elle détermine la position, et l'on construit le deuxième rectangle d'équarrissage de façon que deux de ses faces soient parallèles à ce diamètre. Ce deuxième rectangle a ses quatre faces parallèles à celles du premier rectangle tracé sur l'autre bout de l'arbre, ce que l'on peut vérifier comme nous l'avons indiqué plus haut.

Deuxième moyen. On peut appliquer la règle $F G$, fig. 8, sur le diamètre $b d$ qui est une des diagonales du carré du plus fort équarrissage $a b e d$ tracé sur la coupe du petit bout de l'arbre. On la fixe également par deux clous, et l'on opère sur l'autre bout de l'arbre avec une seconde règle, de la même manière que nous avons décrite au paragraphe précédent. Le diamètre déterminé ainsi sur le second bout de l'arbre est la diagonale homologue du second rectangle.

Troisième moyen. Le rectangle de plus fort équarrissage $a b e d$ étant tracé sur le petit bout de l'arbre représenté fig. 9, on trace l'une de ses diagonales $b d$ qui est un diamètre du cercle de séparation de l'aubier.

On attache un fil plomb $m n$ par un clou à l'extrémité m de ce dia-

mètre, et l'on fait tourner le corps d'arbre sur ses chantiers jusqu'à ce que la diagonale $b d$ coïncide avec le fil aplomb $m n$. Lorsque la coïncidence est parfaite, on cale le corps d'arbre avec des coins, de façon qu'il ne puisse changer de position; on se transporte alors à l'autre bout de l'arbre contre lequel on applique un fil aplomb, de façon qu'il passe exactement sur le centre qu'on a déterminé d'avance; on pique le long du fil aplomb deux points sur les bords du contour de l'arbre, qui marquent la position d'un diamètre vertical que l'on trace après avoir enlevé le fil aplomb. C'est sur ce diamètre que doit se trouver la diagonale du second rectangle d'équarrissage que l'on construit aisément et dont les côtés sont parallèles à ceux du premier.

Quatrième moyen. Après avoir tracé, comme précédemment, le rectangle d'équarrissage $a b e d$, fig. 10, sur la coupe du plus petit bout de l'arbre à équarrir, on tourne cet arbre sur ses chantiers jusqu'à ce que l'un des côtés $b e$ du rectangle soit vertical et coïncide avec un fil aplomb $m n$ que l'on fixe au moyen d'un clou en m , afin de vérifier ensuite autant de fois qu'on le veut la coïncidence, pour s'assurer que le corps d'arbre ne change pas de position. Si le rectangle d'équarrissage n'était pas un carré, on choisirait l'un de ses deux grands côtés pour le faire coïncider avec le fil aplomb $m n$, afin d'obtenir plus d'exactitude par l'effet d'une coïncidence sur une plus grande longueur.

La coïncidence dont il s'agit étant parfaite, on cale le corps d'arbre avec des coins pour qu'il ne change point, de position. On établit ensuite à l'autre bout un fil aplomb tel que celui $p q$ que l'on fait passer sur le centre c déterminé à l'avance. On peut attacher le fil aplomb à un clou placé en p ; ce fil aplomb détermine un diamètre vertical qui sépare en deux parties égales le second rectangle, que l'on trace en faisant ses côtés $b e, a d$, verticaux et parallèles au diamètre $p q$.

Ces quatre méthodes sont également bonnes; mais les deux dernières ont l'avantage qu'un seul charpentier peut opérer, à la rigueur, sans le secours d'un compagnon, à moins que la pesanteur du corps d'arbre l'empêche de le tourner même en s'aidant d'un levier.

Si un corps d'arbre à équarrir était exactement rond, également gros aux deux bouts et sans aubier, les angles de ses rectangles d'équarrissage tomberaient exactement sur les circonférences des deux bouts; les arêtes de la pièce prismatique qu'on aurait à équarrir seraient toutes quatre sur la surface cylindrique dont elles seraient quatre génératrices: on les tracerait aisément, en joignant par des lignes droites les angles homologues

des deux rectangles d'équarrissage qu'on aurait inscrits dans les circonférences des deux bouts, et l'on pourrait tailler leurs faces ou plans d'équarrissement dans l'ordre qu'on voudrait. Mais un arbre n'est pas parfaitement cylindrique; ses deux bouts sont inégaux, et, de plus, son bois parfait est enveloppé d'aubier qu'on ne doit enlever qu'en même temps qu'on équarrit; ainsi les arêtes de la pièce qu'on veut équarrir ne sont point sur la surface de l'arbre, d'ailleurs inégale et formée d'une écorce raboteuse. Ces circonstances forcent à procéder à l'équarrissement en deux parties. Il faut équarrir d'abord deux faces parallèles qui mettent en évidence les places des arêtes de la pièce, et équarrir ensuite les deux autres faces qui achèvent l'équarrissement. Les rectangles d'équarrissage forment une partie du tracé qui doit indiquer sur l'arbre le bois à enlever. Pour compléter ce tracé, il faut marquer sur la surface du corps d'arbre les lignes suivant lesquelles elle est rencontrée par les faces d'équarrissement qu'on veut tailler les premières. Ces faces sont toujours celles qui ont le plus de largeur, afin que l'équarrissement soit plus exact. Mais, attendu que l'écorce de la plupart des arbres employés dans la charpenterie est brune et raboteuse, et qu'elle ne permet pas de tracer des lignes ni assez nettes ni assez apparentes pour guider sûrement le travail, les bûcherons équarrisseurs préparent pour chaque ligne une surface unie et blanche dans l'emplacement où elle doit être tracée, en enlevant avec la tranchant de la cognée une bande d'écorce jusqu'à l'aubier.

Le carré du plus fort équarrissage $a b e d$ étant tracé, fig. 3, sur les deux bouts de l'arbre à équarrir, on a prolongé jusqu'à l'écorce en m, n, o, p , les côtés $b e, a d$, qui répondent aux faces qui doivent être taillées les premières, comme on le voit aussi en x, y, v, z , fig. 7 et 10, planche IV. Les traces de ces deux faces $b e, a d$, fig. 3, planche V, sur la surface de l'arbre passent par les points m, n, o, p , et leurs homologues m', n', o', p' , de l'autre bout de l'arbre, ce qui a déterminé la position des bandes sur lesquelles l'écorce a dû être enlevée par les bûcherons, et qui sont distinguées, fig. 1 et 3, où elles sont apparentes, par des hachures obliques. Les lignes projetées en $m m', n n', o o'$, tracées sur ces bandes et qui passent par les points projetés en m, n, o , fig. 3, sont les traces des faces d'équarrissement. La projection horizontale de la ligne qui passe par le point p de la fig. 3, et qui serait tracée sur la bande non apparente, se confond avec la ligne $n n'$ de la fig. 2, et sa projection verticale se confond avec la ligne $o o'$, de la fig. 1.

Les bûcherons se contentent de tracer les lignes des bandes supérieures

qui sont projetées en $m m'$, $n n'$, et qui sont aussi les seules pour lesquelles ils enlèvent l'écorce, parce qu'elles leur suffisent pour tailler des surfaces planes en s'aidant du fil à plomb. L'habitude de faire toujours le même travail donne à ces bûcherons une telle habileté de coup d'œil, que ceux qui ne font que des bois carrés se dispensent même de tracer sur les bouts de l'arbre les carrés de l'équarrissage; ils enlèvent les bandes d'écorce et battent les lignes $m m'$, $n n'$, en jugeant à vue les places qui leur conviennent. Mais les équarrisseurs de bois qui ne font usage que de l'herminette ne peuvent se passer des rectangles d'équarrissage ni des quatre traces des deux plans d'équarrissement, ainsi que nous le verrons plus loin.

Pour tracer les lignes projetées en $m m'$, $n n'$, que nous supposerons d'abord les seules nécessaires, on dispose le corps d'arbre de telle sorte que les côtés $b e$, $a d$, fig. 3, du rectangle d'équarrissage soient verticaux, ce qui s'obtient aisément en faisant tourner l'arbre sur les chantiers et en le calant dès qu'un fil à plomb coïncide exactement avec l'un des côtés $b d$ du rectangle, comme dans la fig. 10. Deux bûcherons, prenant alors le cordeau, fig. 3, planche I, que nous avons décrit, page 26, ils en déroulent une longueur égale à celle du corps d'arbre, et après l'avoir trempé dans une couleur liquide (1), ils l'étendent sur l'une des deux bandes supérieures dont l'écorce a été enlevée; par exemple, sur celle qui répond aux points projetés en n et n' fig. 1, 2 et 3, et ils le font correspondre, en le tendant, sur ces mêmes points n et n' . L'un d'eux, tenant toujours le cordeau de la main gauche appliqué sur le point qui se trouve de son côté et bien tendu, allonge le bras droit au-dessus de l'arbre, pour le saisir le plus loin qu'il peut avec le pouce et l'index; il le soulève dans le plan vertical. puis il le lâche tout à coup. Le cordeau en retombant bat vivement le bois, dépose la couleur dont il est chargé et trace ainsi la ligne projetée en $n n'$. On en fait autant pour l'autre bande qui répond aux points m , m' , sur laquelle on bat de la même manière la ligne projetée en $m m'$, fig. 2.

Ces deux premières lignes étant tracées, si l'on a besoin des deux autres on retourne le corps d'arbre pour faire venir au-dessus les deux bandes du dessous, et après l'avoir assujéti, comme précédemment, de façon que les mêmes côtés $e b$, $a d$, du rectangle d'équarrissement soient encore exactement

(1) Cette couleur est composée ou de sanguine, ou de noir de fumée, ou simplement de noir de paille brûlée, délayé dans une suffisante quantité d'eau.

verticaux ; on bat de la même manière les lignes qui répondent aux points o, p , de la fig. 3 qui se trouvent alors en dessus, à la place des points m, n , passés en dessous. Il est évident que de cette sorte les deux plans d'équarrissement verticaux passent exactement par les quatre traces qui ont été battues. Mais, comme on l'a déjà fait remarquer ci-dessus, ces quatre lignes ne sont nécessaires que lorsque l'équarrissement doit être terminé à l'herminette, et les bûcherons qui ne se servent que de la doïre se contentent des deux traces supérieures $m m', n n'$.

Lorsqu'on bat les traces $m m', n n'$ dont il s'agit, il est indispensable que l'arbre soit fixé de façon que les côtes $b e, a d$, des rectangles d'équarrissement soient exactement verticaux, afin que le cordeau, soulevé verticalement, batte ces traces dans les plans d'équarrissement, jusque dans les défauts des bandes écorcées qui peuvent résulter des difformités de l'arbre. Si on ne soulevait pas le cordeau dans un plan bien vertical, son poids, se combinant avec le mouvement qu'on lui donne, il marquerait sur le bois des lignes qui, non-seulement ne seraient point les traces d'un plan vertical, mais ne seraient dans aucun plan.

Les deux lignes projetées en $m m', n n'$, qui marquent les traces des deux premières faces ou plans d'équarrissement étant battues avec autant de précision que possible, et l'immobilité de l'arbre ayant été préalablement assurée, on commence l'exécution de la première partie de son équarrissement.

La fig. 4, planche V, est une projection verticale, la fig. 5 une projection horizontale, et la fig. 6 une coupe suivant la ligne $M N$ d'un arbre A établi et calé comme précédemment, et sur lequel on a commencé l'équarrissement, comme nous allons l'expliquer, pour le côté qui répond au plan d'équarrissement dont la trace est la ligne projetée en $n n'$, fig. 4 et 5.

Les bûcherons montent debout sur le corps d'arbre et se courbent autant qu'il le faut pour faire avec la cognée des entailles $h g$ formées chacune de deux plans verticaux $h i g, h j g$, qui sont grossièrement coupés, et qui font des angles d'environ 60 degrés entre eux et le plan d'équarrissement ; le fond de l'entaille, qui présente une arête creuse $g h$, est fait avec plus de soin. Pour se guider, le bûcheron se sert d'un fil à plomb $k l$ qu'il présente contre le fond de l'entaille, sans descendre de dessus l'arbre, d'où il peut apprécier la coïncidence et juger où il faut ôter du bois pour que ce fond soit en ligne droite verticale, et s'il s'approche assez près de la

ligne $n' n'$ qui est la trace du plan d'équarrissement qu'il ne faut ni dépasser ni même atteindre.

Il suit de cette manière d'opérer que, lorsque les entailles d'un côté de l'arbre sont faites, tous leurs fonds $g h$ sont dans un même plan vertical $n n' o$ très-rapproché du plan d'équarrissement.

Les bûcherons opèrent de la même manière pour les entailles qui répondent de l'autre côté, au second plan d'équarrissement qui a pour trace, sur la bande écorcée, la ligne projetée en $m m'$.

Lorsque toutes les entailles sont faites, les bûcherons descendent sur le sol; ils se placent de côté, le long de l'arbre, et détachent les segments en saillies qui sont entre les entailles. Pour cela, ils fendent le bois à coups de cognée, en tenant la lame verticale, le tranchant en bas et parallèle au fil du bois. Lorsque la cognée a pénétré, il suffit de dévier vivement son manche pour faire éclater le bois. Les bûcherons coupent ensuite, toujours à coups de cognée, mais par copeaux moins épais, autant de bois qu'il est nécessaire pour approcher à quelques millimètres près du plan d'équarrissement, attendu qu'il n'y a aucun inconvénient que l'ébaucheur laisse un peu de gras à son travail, c'est-à-dire un peu plus de bois qu'il n'en faut; tandis que l'inconvénient serait très-grave et sans remède s'il faisait un travail maigre, c'est-à-dire s'il ôtait trop de bois.

Les entailles sont faites à des distances égales, mais qui varient suivant l'espèce du bois qu'on équarrit. Leur écartement est plus grand pour les bois qui se fendent aisément que pour ceux dont les fibres ont une très-grande adhérence entre elles. Pour le bois de sapin, on écarte les entailles jusqu'à 1 mètre, tandis que, pour le bois de chêne et le bois d'orme, leur écartement ne doit pas être plus grand que 0^m,66 ou 0^m,70.

Sur les fig. 4 et 5 de la planche V, nous avons supposé que toutes les entailles, pour la première partie de l'équarrissement, ont été faites, qu'on a commencé à abattre les segments qu'elles ont laissés entre elles, et que quatre de ces segments ont été abattus sur une face, et trois sur l'autre. On distingue dans la projection verticale, entre les fonds des entailles $k' g'$, $h' g'$ et le bord $n' o'$, les emplacements que quatre segments ont occupés sur la face d'équarrissement qui est apparente.

Lorsque les deux premières faces de l'équarrissement sont débarrassées des segments et qu'elles sont ébauchées à la cognée, on les achève en les planant à la doloire, sorte de cognée que nous avons représentée, fig. 10, planche I, et que nous avons décrite, page 38.

L'usage de cet outil exige une grande habitude, une grande adresse et une grande sûreté de main; il est toujours confié aux bûcherons les plus habiles et les plus intelligents. Le *doloire*, c'est ainsi que l'on nomme le bûcheron qui manie la doloire, se place le long de l'arbre, l'ayant à sa gauche, la jambe droite plus avancée que la gauche, le genou gauche tant soit peu plié; il tient le manche avec ses deux mains, la droite la plus rapprochée de la douille de l'outil, la face plate de la lame appliquée contre le bois, le biseau en dehors, le tranchant presque horizontal lorsqu'il attaque le bois, faisant néanmoins un petit angle avec les fibres, et glissant un peu pour couper plus nettement et ne point arracher le bois.

Le doloire coupe adroitement en deux l'épaisseur de la trace du plan d'équarrissement qui a été battue sur la bande écorcée et que le bûcheron n'a point atteinte avec sa cognée. Il continue sa coupe dans un plan vertical en la dirigeant au moyen d'un fil à plomb; il enlève des copeaux de plus en plus minces, à mesure que son travail approche de la perfection. Lorsqu'il y apporte du soin, il rend les faces planes et unies sans apparence de coups d'outil. Cette perfection n'est cependant pas nécessaire pour les bois livrés au commerce; il suffit que les plans soient bien dégauchis et l'on n'exige pas que le bois soit parfaitement uni.

Dans le travail de l'équarrissement, le fini et le redressement des plans à la doloire ou à l'herminette est le plus difficile; mais celui de l'ébauche à la cognée est le plus fatigant. Lorsque les premières faces sont dressées et polies à la doloire, les bûcherons procèdent à l'équarrissement des deux autres faces.

La fig. 1, planche VI, est une projection verticale, et la fig. 2 une projection horizontale d'un arbre *A*, équarri sur deux faces, et auquel on travaille pour faire la deuxième partie de l'équarrissement, qui consiste dans celui des deux faces qui doivent compléter l'opération.

La fig. 3 est une projection verticale dans laquelle l'arbre *A* est vu par le bout.

Cet arbre peut être maintenu à plat, dans des chantiers entaillés, au moyen de coins, comme dans les fig. 1, 2, 3 de la planche IV, ou bien il peut être posé également à plat sur des chantiers carrés, pourvu que son poids suffise à sa stabilité, et que l'exactitude avec laquelle les faces équarries ont été coupées à la doloire dispense de le caler. C'est ainsi qu'il est représenté fig. 1, 2, 3, planche VI, où l'on suppose que la face où premier équarrissement *mm' p'p* porte sur les chantiers.

Les parties hachées obliquement, fig. 1 et 2 de la planche VI, sont les pro-

jections de ce qui reste des bandes écorcées après l'équarrissement des deux premières faces.

Dans les figures des planches V et VI, les mêmes lignes sont désignées par les mêmes lettres. Le bout de l'arbre fig. 3, planche VI, est réduit à l'étendue du rectangle d'équarrissage $a b e d$, plus les deux parties de bois $a m n b$, $e o p d$ qu'il faut abâtrer pour achever l'équarrissement et tailler les faces qui répondent aux côtés $a b$, $d e$ du rectangle d'équarrissage.

Les bûcherons battent au cordeau, comme nous l'avons précédemment décrit, les traces des deux dernières faces d'équarrissement qui seront, après l'achèvement du travail, les arêtes de la pièce équarrie. Ces traces sont les lignes $b b'$, $e e'$ de la fig. 2. Ce sont les seules dont les bûcherons font usage; on ne trace celles qui répondent à la face inférieure que pour le travail à l'herminette. Ces deux lignes supérieures étant battues de la manière que nous avons indiquée, les bûcherons montent, comme précédemment, sur l'arbre, c'est-à-dire sur la face équarrie, et, se tenant courbés autant qu'il le faut pour faire agir la cognée, ils ouvrent d'autres entailles, $h g$, également formées chacune de deux plans verticaux $h i g$, $h j y$ qui font entre eux et la face d'équarrissement des angles d'environ 60 degrés. L'intersection de ces deux plans forme le fond $g h$ de l'entaille, qui doit être une arête creuse en ligne droite et verticale très-rapprochée de la face d'équarrissement, sans la dépasser ni même l'atteindre. Les bûcherons, pour obtenir ce résultat, s'aident encore d'un fil à plomb $k l$, et sans descendre de dessus l'arbre.

Les fig. 1 et 2 représentent sur chaque côté de l'arbre cinq entailles faites. Lorsqu'elles sont toutes terminées, les bûcherons descendent sur le sol; ils font éclater, comme nous l'avons déjà dit, les segments ou saillies de bois qui se trouvent entre les entailles et terminent l'ébauche, après quoi les doleurs achèvent de planer et polir les deux dernières faces; l'équarrissement est alors complet, et la pièce A a la figure représentée par les deux projections verticales, fig. 4 et 6, et la projection horizontale, fig. 5 de la même planche VII. Cette pièce est portée sur les mêmes chantiers B .

Les équarrisseurs de bois qui remplacent l'usage de la doloire par celui de l'herminette ne peuvent se passer, pour planer les deux premiers plans d'équarrissement $m m'$, $p p'$, $n n'$, $o o'$, fig. 1, 2, 3, planche V, des quatre traces $m m'$, $n n'$, $o o'$, $p p'$, sur les quatre bandes écorcées, parce qu'ils ne pourraient se servir de cet outil sur des plans d'équarrissement verticaux, vu que les pièces ou arbres sont sur des chantiers trop bas, et qu'on ne peut cependant tenir plus élevés à cause des ébauches à la cognée. Il faut

donc, pour que les équarrisseurs avec l'herminette puissent agir, que les plans qui doivent être dressés soient horizontaux ou qu'ils se présentent sous une inclinaison d'environ 45 degrés. Dans le premier cas, on couche l'arbre sur l'une des faces ébauchées, et le planeur monte sur le plan même qu'il veut dresser; il fait agir l'herminette en se courbant un peu pour que le tranchant atteigne le bois et le coupe à peu près tangentiellement. Dans le second cas, l'ouvrier a ses pieds sur le sol; il est en face de la pièce qui est supportée sur les chantiers et calée de façon que la face à planer soit en dessus, et fasse un angle de 45 à 60 degrés avec l'horizon. La pièce est, au besoin, maintenue dans cette position au moyen de clameau, et souvent les chantiers sur lesquels on l'établit portent des entailles, dont les côtés font également des angles de 45 à 60 degrés avec l'horizon, dans lesquelles on l'encastre.

On voit que, dans ces deux cas, l'ouvrier qui se sert de l'herminette ne peut, pour tailler des plans, s'aider d'un fil à plomb. Il est donc indispensable qu'il voie pour chaque plan, ses deux traces sur les faces qu'il rencontre, afin qu'il puisse diriger son travail au moyen d'une petite règle appuyée sur le bois perpendiculairement à son fil et qui indique les places où il doit couper pour qu'elle pose également sur les deux traces et sur toute la largeur du plan.

L'ouvrier planeur a la plus grande attention à ne point ôter plus de bois qu'il ne faut, vu qu'il n'y a pas moyen de le remplacer et que le remède à cette maladresse est la réduction de l'équarrissage de la pièce. Il s'ensuivrait une diminution de valeur en même temps que cela augmenterait le travail de l'équarrisseur et diminuerait son salaire, qui se paye, comme nous l'avons dit, selon le volume des pièces équarrées.

Pour planer une surface à l'herminette, on commence par dresser ses deux bords en coupant en deux l'épaisseur de ses deux traces; le milieu de la surface se trouve alors trop élevé; on l'abaisse peu à peu, en enlevant des copeaux de plus en plus minces, à mesure qu'on approche du plan qu'on veut former.

Quelques charpentiers remplacent encore l'usage de la doloire par celui de la hache de charron, fig. 11, planche I, ou même par celui de la hache ordinaire, fig. 8, même planche; mais cela ne change rien à la manière de procéder que nous venons de décrire.

On a souvent besoin, dans les constructions des charpentes, de pièces de bois cintrées. Ces pièces ont beaucoup plus de force, et il n'y a aucune

perte de bois, si on peut les tirer d'arbres naturellement courbés plutôt que de les découper dans des pièces droites.

C'est pour cette raison que, lorsqu'on rencontre dans les exploitations des corps d'arbres ou même de très-fortes branches courbes, dont le bois est sain et de bonne qualité, on les équarrit en leur conservant leur courbure. On n'équarrit cependant de cette façon que les arbres ou au moins celles de leurs parties qui n'ont qu'une seule courbure, ou qui peuvent poser d'un bout à l'autre sur un sol plat et uni, et pour lesquels on peut concevoir que la courbe qui passerait d'un bout à l'autre par le cœur serait comprise dans un plan.

Deux des faces de ces pièces, après leur équarrissement, sont planes et parallèles au plan dont nous venons de parler. Les deux autres faces sont cylindriques.

La fig. 1, planche VII, est une projection verticale, et la fig. 2 une projection horizontale d'un corps d'arbre courbe *A*, placé sur ses chantiers *B*, où il est calé par des coins *C* et sur lequel on a commencé la première partie de son équarrissement.

La fig. 3 est une coupe du même arbre suivant la ligne *M N* des fig. 1 et 2.

Lorsqu'on veut équarrir un corps d'arbre courbe pour en tirer une pièce cintrée, on commence par ses deux faces planes, parce qu'elles sont plus aisées à tailler et qu'elles donnent le moyen le plus exact de tailler les deux autres. On établit cet arbre sur les chantiers de façon que les côtés du carré d'équarrissage répondant à ces deux faces et prolongés jusqu'à l'écorce, soient dans des plans verticaux, ce que l'on obtient en les bornoyant avec des fils à plomb. La partie convexe de la courbure de l'arbre se place en dessus, pour que la suite du travail soit plus commode et plus facile. L'arbre étant assujéti dans des entailles ou par des cales en forme de coins, comme on le suppose dans la figure, on marque sur les bandes écorcées, distinguées par des hachures, les traces supérieures *m m' n n'* des deux plans d'équarrissement; les traces inférieures, dont une seule *o o'* est apparente dans les projections, ne sont nécessaires que pour l'équarrissement des deux plans à l'herminette, comme nous l'avons déjà fait observer.

Vu la courbure convexe du dessus de l'arbre, les traces supérieures ne peuvent pas être battues d'un seul coup de cordeau, comme lorsque l'arbre est à peu près droit; on les bat alors par parties. Pour la trace qui doit passer par les points *n* et *n'*, on fait tenir aux deux bouts de l'arbre deux

fil à plomb $xy, x'y'$, de façon qu'ils passent l'un sur le point n , l'autre sur le point n' . Un bûcheron s'éloigne assez pour distinguer les deux fils et les bornoyer l'un sur l'autre. Il fait planter dans la longueur de l'arbre quelques clous, r, s, t, u, v , sur la bande écorcée dans l'alignement du plan des deux fils à plomb. Après quoi on bat la ligne par parties de n en r , de r en s , de s en t , de t en u , de u en v et de v en n' . On a ainsi la trace courbe $nrstuvn'$ qui est dans le premier plan d'équarrissement. On en fait autant de l'autre côté pour les points m et m' , ce qui donne la trace supérieure du second plan d'équarrissement.

Les bûcherons font les entailles hg et les dirigent verticalement au moyen d'un fil à plomb kl ; ils enlèvent les segments à la cognée, comme nous l'avons décrit pour un arbre droit, et le doleur achève de dresser les deux plans d'équarrissement. Si ces deux plans doivent être travaillés à l'herminette, on a battu les traces inférieures qui passent par les points a, a', p, p' des plans d'équarrissement, et le corps d'arbre est calé de façon que chaque plan se présente à son tour sous un angle d'environ 45 degrés.

Cette première partie de l'équarrissement terminée, les coins et calés qui maintiennent l'arbre sont enlevés pour le coucher sur l'un des plans équarris, comme on le voit en projection verticale, fig. 4, et en projection horizontale, fig. 5 de la même planche VII. La fig. 6 est une coupe suivant la ligne MN , tracée sur les fig. 4 et 5. Dans cette position, l'arbre pose sur les chantiers B par sa face plane $mm'p'p$, et son autre face plane $n'n'o'a$, est en dessus et entièrement apparente dans la projection horizontale. Ce qui reste des bandes écorcées est distingué sur les projections par des hachures, et des lignes ponctuées indiquent dans les fig. 4 et 6 le volume du bois enlevé par la première partie de l'équarrissement. La ligne $nrstuvn'$ est la trace de la surface plane d'équarrissement, désignée par les mêmes lettres sur les fig. 1 et 2.

Pour achever l'équarrissement, on trace sur le plan d'équarrissement supérieur les arêtes de la pièce courbe qu'il contient et qui répondent aux points b, e du rectangle d'équarrissage. Ces courbes se tracent au moyen de calibres en bois, ou gabaris découpés qu'on applique sur le plan. Elles sont marquées en bxb', exe' , fig. 5; elles servent de limites pour la profondeur des entailles gh , que le bûcheron dirige verticalement au moyen d'un fil à plomb kl . On n'a marqué sur les figures 4 et 5 que trois entailles de chaque côté. Lorsqu'elles sont toutes faites, on enlève les segments qui sont entre elles. Le doleur polit les surfaces cylindriques,

mais il ne peut se servir de la doloire; du moins pour la surface concave, il faut recourir à l'herminette. C'est par cette raison qu'on a dû tracer sur les deux faces d'équarrissement planes, les arêtes de la pièce cintrée qui sont les traces de ces surfaces courbes. La pièce de bois est alors remplacée sur les chantiers de façon que ces faces planes soient verticales. La face courbe soit convexe, soit concave, qu'il s'agit de polir, se trouve alors en dessus, et l'ouvrier monte dessus pour agir avec l'herminette, en observant de ne point couper le bois au rebours de ses fibres, comme nous l'avons déjà dit.

La pièce de bois courbe *A* complètement équarrie est représentée couchée sur ses chantiers *B*, en projection verticale, fig. 7, pl. VII, en projection horizontale, fig. 8, et dans une coupe suivant la ligne *M N*, fig. 9. La fig. 10 est une coupe de cette même pièce par un plan vertical suivant la ligne *E F*, fig. 8. On a indiqué sur cette coupe l'apparence des couches annuelles d'accroissement, et sur la fig. 8 quelques fibres qui suivent la courbure de la pièce.

Les rectangles *n n'*, *m' m*, *o t z p*, *G H I J* sont les projections d'un parallélépipède qui enveloppe la pièce cintrée équarrie, pour montrer le volume qu'un plateau de bois équarri dans une pièce droite devrait avoir pour qu'on pût en tirer la même pièce en le découpant; et le cercle ponctué circonscrit au rectangle *o t z p* montre la grosseur que devrait avoir un corps d'arbre, pour qu'on pût y équarrire le parallélépipède dont nous venons de parler; ce qui fait voir quelle économie de bois et même de travail résulte de l'équarrissement d'un arbre naturellement courbe, pour obtenir des pièces cintrées.

§ 5. *Équarrissement à la scie et sciage de long.*

L'équarrissement à la scie ne diffère de celui fait à la hache, qu'en ce que l'on enlève d'une seule pièce, sur chaque face, tout le bois que les bûcherons réduiraient en copeaux; mais la scie a un usage plus général: elle sert aussi pour partager ou débiter les arbres et les pièces déjà équarries, en plusieurs parties suivant leur longueur.

Le bois enlevé par la scie sur chaque face d'équarrissement forme une sorte de plateau nommé *flèche* ou *dosse*.

Le tracé de la pièce à équarrire, c'est-à-dire l'établissement du rectangle d'équarrissage sur les deux bouts de l'arbre et des traces des plans

d'équarrissement, se fait de la même manière que pour l'équarrissement à la hache.

Les scies dont on se sert pour équarrir et débiter les bois sont de deux espèces, savoir : les scies à lames droites agissant par un mouvement de va-et-vient, et les scies à lames circulaires ayant un mouvement de rotation continu. Les unes et les autres peuvent être mues à bras ou par des agents plus puissants que la force de l'homme, tels que des animaux appliqués à des manèges, des cours d'eau, le vent, la vapeur. Cependant le sciage à bras ne s'est fait jusqu'à présent qu'avec les scies à lames droites, dont nous avons donné les descriptions, fig. 18 et 22, pl. II.

Les ouvriers qui équarrissent et débitent les arbres à la scie, soit à la forêt, soit dans les ateliers de charpenterie, sont nommés *scieurs de long*. Quoique au résultat, leur travail soit le même, ils ne s'aident pas partout des mêmes moyens. À la forêt, le travail et les agrès sont assez grossiers; on trouve plus d'avantage à faire transporter les arbres à équarrir ou à débiter, aux ateliers de sciage qui sont fixes et établis aux centres des diverses parties d'exploitation, tandis que dans les villes où les chantiers de travail de charpenterie sont éloignés les uns des autres, il est plus commode de faire transporter les ateliers de scieurs de long là où leur travail est nécessaire. Ces ateliers sont toujours composés de deux hommes au moins.

Les scieurs de long élèvent les pièces à scier assez haut pour que l'un d'eux puisse se tenir debout en dessous, tandis que l'autre est placé en dessus. La planche VIII représente des établissements de *scieurs de long*, à la forêt et dans la plupart des villages, pour soutenir les bois à équarrir.

Les fig. 1 et 4 sont des projections parallèles à la longueur des pièces à scier; les fig. 2 et 5 sont d'autres projections verticales dans lesquelles les mêmes pièces sont vues par le bout. *f*, fig. 1 et 2, est un sommier en bois rond dans lequel sont assemblés à tenons et entailles en queue d'hironde et cloués, trois pieds *g*, *h*, *i*, dont les bouts sont fixés dans le sol. L'assemblage de l'un de ces pieds, celui *b*, est projeté sur une échelle double, fig. 3, sur un plan qui aurait pour trace la ligne *xy*, de la fig. 1, perpendiculaire à la direction de ce pied. Deux pièces jumelles *k* provenant d'un arbre scié ou fendu en deux, portent d'un bout sur le sol où elles sont maintenues par des piquets *u*, et de l'autre bout sur le sommier *f* où elles sont clouées, leurs côtés ronds étant en dessus. Ces deux pièces servent de rampe pour monter l'arbre à scier *A*. Les bûcherons le placent en équilibre, croisant les deux jumelles *k*, et le font glisser ou rouler sur leur pente, en le soutenant par des coins *r*, comme on le voit en *A'*. Lorsque l'arbre est arrivé au

sommet, ils le font tourner sur son milieu, et le placent en long entre les bouts des jumelles dans la position *A* où ils le maintiennent au moyen d'un rouleau *f* fixé par des coins *l*, et d'un cordage *m* qui embrasse l'arbre et les jumelles. Ce cordage est serré par un garrot *n* dont le bout est arrêté par un cordon *o*. Afin que le cordage *m* ne glisse point, et qu'on puisse le serrer autant qu'il est nécessaire, il est arrêté en dessous des jumelles dans deux des coches *p* et en dessus de l'arbre par un clou *q*.

On a supposé dans les fig. 1 et 2, que l'arbre à équarrir est écorcé, et qu'il n'a pas d'aubier sensible, comme cela se rencontre dans quelques espèces. Dans ce cas, le carré du plus grand équarrissage *a b e d*, est inscrit dans le cercle que présente le plus petit bout de l'arbre.

Les traces des faces d'équarrissement dans l'hypothèse d'un tronçon d'arbre sensiblement cylindrique sont les arêtes mêmes de la pièce, elles sont marquées sur la projection verticale en long, par les lignes *aa'*, *dd'* : on ne fixe l'arbre avec le cordage *m* et le garrot *n*, que lorsqu'on a placé les côtés *a d*, *b e*, verticaux, au moyen d'un fil à plomb, ce qui est indispensable pour l'exactitude du sciage et de l'équarrissement.

La scie qui fait les faces répondant aux côtés *a d*, et *b e*, du carré d'équarrissage, ne peut agir au delà de la ligne *v z*, fig. 1; et lorsque ces deux faces sont sciées jusqu'à cette ligne, il faut retourner la pièce pour mettre en avant la partie qui est en arrière et achever de scier les faces, en commençant encore par le bout; la rencontre exacte des traits de scie commencés par les bouts opposés dépend de l'adresse des scieurs de long. Pour que cette rencontre puisse avoir lieu, il faut que l'un des deux traits de scie ait plus que la moitié de la longueur de l'arbre. C'est pour cette raison que dans la fig. 1, la distance de la ligne *v z* au bout *a d* est plus grande que sa distance au bout *a' d'*. Il résulte de cette disposition que l'extrémité *a d* doit être plus pesante : afin qu'elle ne fatigue pas le cordage *m*, qui n'a pour objet que d'assurer l'immobilité de l'arbre *A*, on place sous le bout de l'arbre un pointal *s* que l'on serre en faisant, à coups de masse, monter son bout inférieur sur le coin *l*. On change ce pointal de place lorsqu'il gêne le passage de la scie ou de son châssis.

Lorsque les deux premières faces d'équarrissement passant par les côtés *a d*, *b e* sont sciées, on tourne l'arbre pour placer les deux autres faces à scier, celles qui doivent passer par les côtés *a b*, *d e*, verticalement; et l'on procède en tout point pour ces deux faces comme pour les deux premières.

Les fig. 4 et 5 représentent un autre chevalet pour exhausser la pièce à scier. Il est composé d'un corps d'arbre *k* un peu cintré qui pose d'un bout

sur le sol où il est maintenu entre deux forts piquets *j*; par l'autre extrémité il est soutenu par deux pieds *g, h*, qui sont entrés par le bas dans le sol et cloués par le haut chacun dans une entaille faite suivant l'inclinaison nécessaire dans le sommier *k*. Le détail de l'assemblage du pied *g* est représenté sur la même échelle par une coupe fig. 6, faite suivant la ligne *x y* de la fig. 4.

La partie supérieure du sommier *k* est taillée horizontalement pour donner une assiette aux pièces équarries que l'on établit sur le chevalet pour les débiter, comme celle représentée en *A* dans les fig. 1 et 2. Cette pièce est fixée au moyen d'un cordage *m* qui embrasse le sommier *k*; un coin *n* chassé à coups de masse entre la pièce *A* et le sommier *k*, serre le cordage et rend la pièce immobile. Pour empêcher la corde de glisser, elle est retenue en dessous du sommier par un taquet *p* et sur la pièce par deux clous *q*.

Pour augmenter la solidité du sommier, on charge la queue d'une grosse souche ou d'un tronc d'arbre *f*, qui y est retenu dans une entaille et par les têtes des piquets *j*.

On suppose dans les projections, fig. 4 et 5, que la pièce *A* doit être débitée en neuf planches dont la division est indiquée dans le rectangle de l'équarrissage *a b e d*. Les huit traits de scie nécessaires pour débiter ainsi cette pièce sont faits d'abord jusqu'à la ligne *v z*, avant de retourner la pièce pour achever de la scier. On peut au besoin soutenir le bout de la pièce par un pointal *s*, porté sur une calle *t*; mais lorsqu'on débite une pièce en planche, il faut avoir soin d'interposer entre la pièce sciée et le pointal un bout de plateau *r*, pour qu'il soutienne en même temps toutes les planches entre lesquelles on place quelquefois en dessus et en dessous des coins, afin qu'en les serrant avec un cordage elles ne vacillent point et qu'elles conservent entre elles un écartement au moins égal à la largeur du trait de scie. On déplace le pointal toutes les fois que le passage de la scie l'exige.

Quelquefois les scieurs de long se contentent d'une excavation dans le sol pour placer les ouvriers du dessous de la pièce à scier qui s'étend alors horizontalement au-dessus de l'excavation, au niveau du sol, portée seulement sur des chantiers. L'un de ces chantiers est placé au bord de l'excavation, un autre à quelque distance; lorsque la partie de la pièce qui est au-dessus de l'excavation est sciée et que la scie ne peut plus marcher, on retourne la pièce pour recommencer à la scier par l'autre bout, ou bien on la fait avancer au-dessus de l'excavation en la soutenant sur des chantiers

jusqu'à ce qu'elle soit entièrement sciée. D'autres fois enfin, les scieurs de long combinent les dispositions des fig. 1 et 2, 4 et 5 de la planche VIII avec une excavation qu'ils font devant les pieds des chevalets auxquels ils donnent moins de hauteur, disposition qui rend plus facile l'opération qui a pour objet de monter la pièce et de la mettre en place pour être sciée.

Les fig. 1 et 2 de la planche IX représentent un atelier mobile de scieurs de long. La projection de la figure 1 est faite sur un plan vertical parallèle à la longueur de la pièce *A* qui est en sciage, on suppose que les ouvriers sont à l'ouvrage. La projection de la fig. 2 est faite sur un plan vertical perpendiculaire aux arêtes de la pièce *A*, qui est supposé la couper suivant la ligne *MN*, de telle sorte que les ouvriers n'apparaissent point dans cette coupe.

On suppose que la pièce *A* doit être débitée en trois madriers égaux, marqués sur la coupe fig. 2; les traces de ces divisions sont battues au cordeau sur la face supérieure et sur la face inférieure. Cette pièce est élevée sur deux chevalets égaux, composés chacun de quatre pieds *g*, qui supportent un sommier *f* auquel ils sont assemblés par engueulement et boulonnés; leur écartement est maintenu par chaque bout du chevalet par une traverse *h* assemblée à tenons et mortaises chevillés; et dans le sens de la longueur par deux jambettes *i*, qui s'assemblent chacune par le haut, à tenons et mortaises chevillés dans la face inférieure du sommier, et par le bas dans la face supérieure de la traverse correspondante à tenons et mortaises dans un embrèvement et chevillés. Ces deux jambettes sont reliées par une traverse *k* assemblée à tenons et mortaises chevillés.

Lorsque la pièce est d'un très-fort équarrissage, son poids suffit pour produire sa stabilité; dans le cas contraire on l'attache à chaque chevalet par un cordage *m* qui l'enveloppe ainsi que le sommier *f*, et qui est serré, après avoir été fortement noué, par un coin *l*; on charge le chevalet avec de grosses pierres *n* posées sur des madriers *o*, portés au-dessus des traverses *h*.

Pour les bois tendres ou de faibles équarrissages, deux scieurs de long suffisent, l'un en dessus, l'autre en dessous. Pour les bois durs ou d'un fort équarrissage, il faut deux scieurs de long en dessous, parce que l'effort pour faire couper la scie est plus considérable.

Le scieur de long placé en dessus de la pièce élève la scie, il la dirige en descendant pour la maintenir sur le trait qui marque la route qu'elle doit suivre, il opère la pression qui est justement nécessaire pour que la scie coupe; en remontant il éloigne la scie du bois pour que les dents ne le

rencontrent pas et qu'elles ne se gâtent point. Il recule à mesure que la scie avance.

Les scieurs de long placés en dessous ne font effort que lorsque la scie descend, pour la tirer et vaincre la résistance que le bois oppose à ses dents; en la remontant ils aident peu à son ascension, ils écartent comme celui de dessus la lame du fond du trait de scie afin que les dents ne frottent pas. L'un d'eux est spécialement chargé de diriger la scie sur le trait qu'elle doit parcourir; il doit toujours avoir les yeux dirigés sur ce trait pour y maintenir la scie. Souvent des deux ouvriers placés en dessous un seul est scieur de long, l'autre n'est qu'un manoeuvre qui ne fournit au travail que l'effort de ses bras; tous deux marchent en avant à mesure que la scie avance.

La scie qui est supposée entre les mains des ouvriers représentés sur la fig. 1, pl. IX, est celle qui a été décrite, planche II, fig. 18.

Les scieurs de long ont des scies de diverses grandeurs pour les pièces dont les épaisseurs sont très-différentes; autrement, ils seraient gênés dans leur travail, vu que la longueur de la lame d'une scie de long doit être égale à l'épaisseur de la pièce à scier, plus la longueur du chemin que les bras des ouvriers lui font parcourir, qui est d'environ 0 m. 66 c.; et si l'on suppose que l'épaisseur des pièces qu'on a le plus ordinairement à scier est de 0 m. 33 c., la longueur de la lame ne doit pas avoir moins de 1 mètre, ou 1 mètre 20.

Lorsque la scie a parcouru une certaine longueur de la ligne qui marque sa route, les scieurs de long introduisent dans le trait, par le bout où la scie est entrée, un large coin en bois dont l'objet est d'empêcher les parties séparées de vibrer et de déterminer leur écartement pour faciliter le sciage. Les ouvriers appellent ce coin *bon-dieu*, probablement à cause de sa puissance et de l'aide qu'il leur donne. Lorsqu'il a pénétré entre les pièces et qu'ils ne peuvent plus le frapper directement, ils l'atteignent avec un morceau de bois plat qu'ils nomment *chasse-bon-dieu*.

Pour que la scie produise tout le travail dont elle est susceptible, il ne faut pas que la lame soit verticale, quoiqu'on lui imprime un mouvement vertical, afin que toutes les dents puissent mordre à la fois sur toute l'épaisseur de la pièce; l'inclinaison de la scie, fig. 1, par rapport à la verticale que l'une de ses dents parcourt, est déterminée par l'épaisseur du copeau enlevé par une dent multipliée par le nombre de dents engagées dans l'épaisseur de la pièce sciée.

Les scieurs de long qui ont l'habitude de la profession jugent aisément,

à la résistance du bois ainsi qu'à la quantité de sciure rejetée hors du trait, s'ils donnent à la scie l'inclinaison qui convient pour qu'elle fasse le maximum de travail.

C'est, au surplus, de l'ensemble des mouvements des scieurs de long du dessus et du dessous, et de leur adresse à conduire la scie, que dépend la quantité du travail et son exactitude. Hassenfratz a observé que trois scieurs de long bien exercés donnent 50 coups de scie par minute dans une pièce de bois de chêne encore vert, de 0^m,30^c d'épaisseur et que dans une heure ils scient cette pièce sur une longueur de 3^m,60^c, d'où il suit que la scie avance d'environ 0^m,0012 par coup, ou qu'elle scie environ 1 mètre carré et 8 centimètres par heure.

Pour placer la pièce A sur les chevalets, les scieurs de long la lèvent à bras et la posent d'abord d'un bout sur l'un des chevalets; ils la lèvent ensuite de l'autre bout et amènent le second chevalet au-dessous. Mais lorsqu'elle est trop pesante, ils la font monter en travers et en équilibre le long d'un fort madrier de 4 à 5 mètres de longueur, appuyé par un bout sur un des chevalets, qu'on maintient par un arc-boutant incliné. Lorsque la pièce est arrivée en haut de cette sorte de rampe, on soulève le madrier pour placer en dessous du bout qui posait à terre le second chevalet; on fait ensuite tourner la pièce, puis on la pousse pour la placer en long sur le madrier, on lui donne enfin quartier; elle porte alors uniquement sur les chevalets, et l'on enlève le madrier.

Lorsque les dimensions et le poids de la pièce à placer sur les chevalets sont trop considérables pour user de ce moyen, on se sert d'une chèvre dont nous donnerons la description au chapitre des agrès pour le levage. On saisit la pièce par le milieu avec le bout du câble de la chèvre; on l'élève à la hauteur nécessaire pour placer les chevalets au-dessous, et lorsqu'elle est en place on enlève la chèvre.

Le plus ordinairement, les ateliers de sciage des grands travaux sont pourvus de chèvres uniquement pour cet usage.

Lorsque pendant le sciage la scie a atteint un chevalet, il faut changer la position de ce chevalet et le faire passer en arrière de la scie pour qu'elle puisse continuer à travailler; on soutient la pièce à bras si elle n'est pas trop pesante, pendant qu'on change le chevalet de place. Quelques scieurs de long se servent d'un troisième chevalet qu'ils placent sous la pièce après l'avoir tant soit peu élevée au moyen de coins sur le chevalet qu'ils veulent ôter; quand le nouveau chevalet est placé, ils mettent des coins entre son sommet et la pièce, ce qui donne assez le jeu pour retirer le chevalet contre

lequel la scie est arrêtée. D'autres se contentent de soutenir la pièce par un pointal ou par deux arcs-boutants inclinés ; le mieux est de se servir, ainsi que je l'ai vu pratiquer, de deux leviers comme celui représenté par deux projections *s*, fig. 3 : ce levier porte un tasseau *t* qui sert à soutenir la pièce. La fig. 4 représente par deux projections le bout d'une pièce *A* ainsi soutenue par deux leviers *s* pendant qu'on change un chevalet de place ; les deux leviers sont un peu plus longs que la hauteur d'un chevalet, ils donnent le jeu nécessaire pour enlever celui qui arrête la scie, un seul homme suffit pour tenir les deux leviers verticaux pendant l'opération qui est très-promptement faite.

Les fig. 5 et 6 sont deux projections verticales d'un chevalet construit en planches, qu'on peut établir rapidement à défaut d'autre et de temps pour en construire. Deux triangles formés chacun de trois planches clouées *g h i* servent de pieds à chaque bout, il sont entretenus verticaux et à la distance d'environ un mètre et demi, par deux croix de Saint-André également formées chacune de deux planches croisées *j k*, clouées sur les épaisseurs de celles qui servent de pieds. Un rondin *f* sert de sommier pour soutenir la pièce à scier *A*, à laquelle le plan de projection est parallèle dans la fig. 5, et perpendiculaire dans la fig. 6.

Les fig. 7, 8, 9 et 10 représentent différentes manières de disposer les pièces à refendre *A* sur les sommiers *f* des chevalets, lorsqu'elles ont trop peu d'épaisseur pour qu'un scieur de long puisse se tenir dessus. Ces figures sont supposées des coupes faites dans les pièces *A* par des plans verticaux perpendiculaires à leurs arêtes. Dans la fig. 7, la pièce *A* est maintenue par un cordage noué en dessus, après avoir entouré le sommier *f*, et serré au moyen d'un coin *n*. Des chevilles *q* placées dans le dessous du sommier empêchent le cordage de glisser. Deux clameaux *o* achèvent de maintenir la pièce, une des pointes de chacun entre dans le sommier, l'autre est piquée dans la pièce *A*. Deux madriers *p* portent sur les sommiers des chevalets, et servent à placer les pieds du scieur de long du haut, qui a ainsi la pièce *A* entre les jambes pendant le travail.

Dans la fig. 8, la pièce à refendre *A* est serrée entre deux pièces carrées *B*, par un cordage, le scieur de long du haut place ses pieds sur les pièces *B*.

Dans la fig. 9, la pièce *A* à refendre est attachée à une seule pièce carrée *B*, par un cordage noué *m*, et serré par un coin *n*. Cette disposition n'est pas aussi commode que les précédentes pour le scieur de long du haut, qui est obligé, quoiqu'il place un de ses pieds sur la pièce *A*, de porter son corps un peu de côté, afin de maintenir ses yeux dans le plan de la

lame de la scie et du trait qu'elle doit suivre, et que le faible effort qu'il fait pour aider au sciage soit également réparti des deux côtés de la lame et ne la dévie pas du plan vertical.

Si l'on doit refendre plusieurs plateaux *A*, *A'* fig. 10, on les réunit par un cordage *m* serré au moyen d'un garrot *n*; quand on a scié ceux *A* qui occupent le milieu, on les fait passer sur les côtés, à la place de ceux *A'*, qu'on établit dans le milieu pour les refendre aussi.

Il arrive souvent dans les grands travaux, qu'on doit débiter de grosses pièces dont la forme ne permet aucune des dispositions dont nous venons de parler; il y a alors économie de construire exprès des chevalets qui donnent le moyen d'exécuter toutes sortes de sciages : un chevalet de cette espèce est représentée, planche VII, en projection verticale parallèlement à la pièce à scier, fig. 11; et en projection verticale, la pièce à scier vue par le bout, fig. 12.

Ce chevalet est plus élevé que celui représenté fig. 1 et 2, pl. IX; il est également composé d'un sommier *f*, de quatre pieds *g* liés par le bas par une traverse *h*, et de deux jambettes *i*; mais au lieu de la traverse *h*, ces deux jambettes sont prises par deux moises *j* dont les bouts portent sur deux traverses *h*, assemblées à tenon et mortaise entre les pieds *g*. Ces moises *j* sont boulonnées aux jambettes *i* et sur les traverses *h*. Elles servent de sommier pour supporter la pièce *A*, qu'on suppose devoir être débitée en planches et sur laquelle les traces des plans de sciage sont marquées; cette pièce passe entre les jambettes, elle est maintenue par des cales *o* et attachée par un cordage *m* qui l'entoure ainsi que les moises, et qui est serré par des coins *n*. Deux madriers *p*, posés sur les sommiers *f* du chevalet, s'étendent parallèlement au-dessus de la pièce, et servent à porter le scieur de long. On les place de façon que le scieur de long du haut, ayant un pied sur chaque madrier, la lame de scie passe entre eux; dans la fig. 12 ils sont posés pour le cas où la lame de scie serait dans le plan du trait *x y*.

Les Espagnols se servent, pour exhausser les pièces de bois à scier, d'un seul chevalet extrêmement simple, qui paraît leur avoir été laissé par les Maures. Si son usage n'est pas aussi commode que celui des tréteaux que nous avons décrits, il a au moins l'avantage de pouvoir être transporté très-aisément par les scieurs de long partout où l'on en a besoin, et d'être partout d'une construction très-facile.

La fig. 1, pl. X, est un atelier établi au moyen de ce chevalet projeté verticalement sur un plan parallèle à la longueur de la pièce à scier *A*. La fig. 2 est

une projection verticale par un plan perpendiculaire au premier. La fig. 3 est une projection du chevalet sur un plan parallèle aux arêtes des pièces dont il est composé; ce plan est perpendiculaire à celui de la première projection, et a pour trace, fig. 1, la ligne *MN*.

Les pièces de bois carrées *g*, sont les jambes de ce chevalet, elles sont réunies à mi-bois au sommet, et liées par un boulon *h* serré par un écrou; par le bas, ces jambes sont liées par une traverse *k*, qui leur est assemblée à chaque bout par un tenon traversant, maintenu par une grosse cheville *i*. La pièce de bois à scier *A* est passée dans ce chevalet et portée sur un sommier *f*, qu'on soutient à la hauteur convenable au moyen de deux chevilles en fer *m* placées dans les trous dont les jambes *g* sont percées. Le chevalet incliné et les arêtes intérieures des faces inférieures de ses jambes *g*, portent sur les arêtes supérieures de la pièce *A*. Les deux contacts de ces quatre arêtes sont projetés aux points *x*. Le poids de la pièce suffit pour assurer la stabilité de cette combinaison; on la complète par l'addition de quelques grosses pierres *n* placées sur son bout inférieur. *rr* sont les chantiers sur lesquels la pièce *A* était placée avant qu'elle fût supportée par le chevalet.

La scie dont on fait usage en Espagne est du même genre que celle décrite fig. 22, pl. II, page 73, si ce n'est qu'elle est plus épaisse, et que la lame est de la même largeur d'un bout à l'autre.

Lorsque la pièce à scier est d'un faible équarrissage, on est forcé de placer derrière le chevalet un tasseau *p* qui pose contre cette pièce: il est maintenu par deux chevilles *q* qui entrent dans les trous percés dans les jambes *g*; autrement les points de contact *x* se trouveraient trop rapprochés du sommet du chevalet, il faudrait placer le sommier *f* trop haut et le bout de la pièce *A* serait trop élevé pour que les scieurs pussent agir. Pour placer la pièce *A* en position d'être sciée, on monte le chevalet en passant sa traverse *k* en dessous. On soulève ensuite la pièce par un bout, et pendant qu'on la soutient, on fait glisser le chevalet jusqu'à sa position en lui donnant l'inclinaison qui convient. Mais lorsque la pièce est trop pesante pour qu'on la tienne à bras ou à l'épaule pendant le temps nécessaire à l'établissement du chevalet, on la soutient sur un ou deux arcs-boutants, ou sur des chantiers posés en chaise les uns sur les autres à mesure qu'on soulève le bout sur lequel on veut commencer le sciage; on fait dépasser ce bout de plus de la moitié de la longueur de la pièce. Lorsque la scie est parvenue près du chevalet et qu'elle ne peut plus avancer, on baisse le bout scié et on lève l'autre en faisant toutefois passer le som-

mier / de l'autre côté du chevalet que l'on renverse alors en sens contraire.

Les scieurs de long équarrirent et débitent aussi des pièces cintrées comme celle représentée fig. 8, pl. VII; mais il faut alors pour les faces courbes que la lame de leur scie soit fort étroite, afin qu'elle puisse changer de direction dans son propre trait pour suivre la courbure tracée sur les faces planes de la pièce.

La scie de long est employée non-seulement pour équarrir des arbres, mais aussi pour refendre des pièces déjà équarrées, et pour les débiter en chevrons et soliveaux et même en madriers et en planches; dans tous les cas les procédés de sciage sont les mêmes. Il faut observer que pour avoir des pièces équarrées ou refendues à des dimensions exactes, il est indispensable, en traçant, de tenir compte de l'épaisseur du trait, c'est-à-dire du bois qui doit être enlevé par la lame de la scie, et l'on doit même calculer l'épaisseur des pièces, de façon qu'elle puisse laisser le bois que doivent enlever les outils avec lesquels on doit les polir.

§ 6. Scieries à lames droites.

Lorsque les scies sont mues par d'autres forces que celles des bras des scieurs de long, les machines qui effectuent le sciage et les bâtiments qui les renferment, composent des usines nommées scieries, et qui sont distinguées par l'espèce de moteur qui leur est appliquée.

Les scieries sont le plus ordinairement employées au débit des arbres, en planches, en madriers et autres menus bois.

Les scies à lames droites mues par des machines sont montées dans de forts châssis en bois qui ont un mouvement de va-et-vient vertical entre des coulisses. Ce mouvement était produit autrefois par une came implantée dans l'arbre horizontal d'une roue à laquelle la rotation était imprimée, au moyen d'engrenages, soit par l'eau, ou par le vent. Cette came, en rencontrant la traverse inférieure du châssis, le soulevait dans les coulisses, et c'était en redescendant par l'effet du poids du châssis que les lames de scies agissaient sur les bois à scier, portés sur un chariot. Un encliquetage mis en mouvement par le même moteur les faisait avancer à chaque coup, de la quantité du chemin ouvert par les scies. Par cette disposition, le moteur n'était employé qu'à soulever les châssis, il consommait une force plus grande que l'effort fait par les scies pour vaincre la résistance du bois.

Aujourd'hui, l'arbre mis en mouvement de rotation par le moteur porte

un double coude ou manivelle qui donne, en tournant, un mouvement de va-et-vient au châssis de la scie, par l'intermédiaire d'une bielle; de cette façon, la force motrice est réellement employée à scier, et la scie parcourt verticalement un trajet double du rayon de la manivelle; un encliquetage fait avancer encore les bois sous la scie. Dans les scieries à eau, l'arbre tournant auquel est appliquée la roue motrice, passe au-dessous de la scie; dans celles mues par le vent, cet arbre passe au-dessus. Dans les scieries à manège ou à vapeur, il peut indifféremment passer au-dessus et au-dessous; dans tous les cas, la lame de la scie est un peu inclinée, afin que toutes les dents agissent pendant la course verticale du châssis, comme nous en avons déjà fait remarquer la nécessité, page 142, en parlant du travail des scieurs de long.

Dans les usines à débiter les bois en planches, en madriers, et même en chevrons et lattes, plusieurs lames de scie sont réunies dans un même châssis et agissent par conséquent en même temps; elles sont écartées, en tenant compte de la largeur de leurs traits, de façon que les bois sciés aient les dimensions marchandes.

Afin que la force motrice soit employée à peu près constamment, c'est-à-dire, pour qu'elle trouve une résistance à peu près uniforme, on place deux ou trois manivelles sur le même arbre, qui font mouvoir un même nombre de châssis avec leurs lames de scie, de telle sorte qu'il y en ait toujours une qui agisse, et qu'il n'y ait aucune force perdue.

§ 7. Scies circulaires.

La scie circulaire est formée d'une lame ou feuille de tôle d'acier coupée circulairement, parfaitement plane, partout d'égale épaisseur, et taillée à sa circonférence comme une scie droite. Les dents toutes égales sont inclinées dans le même sens; leur grandeur est, comme pour la scie droite, proportionnée à la dureté du bois à scier. On donne aux scies circulaires de la voie comme aux scies droites; la taille des scies circulaires doit être parfaitement régulière sous le rapport de l'espacement des dents, comme sous celui de leur saillie et du rayon de la scie. Les lames de scie droites ou circulaires sont, en général, taillées à la machine pour obtenir la régularité dont nous parlons, qui est utile pour la netteté et la célérité du travail, elle est surtout indispensable pour les scies circulaires.

Les lames de scies circulaires sont traversées dans leur centre par un arbre en fer horizontal auquel le moteur imprime le mouvement de rotation;

elles sont montées contre une large embase qui fait partie de l'arbre; leurs faces planes et parallèles sont conséquemment perpendiculaires à leur axe de rotation.

La fig. 4, planche X, représente par deux projections verticales une lame de scie circulaire b montée sur un arbre a , et ayant déjà refendu de m en n la pièce A qui avance avec une vitesse uniforme proportionnée à celle du sciage; le mouvement de la pièce A est produit par le même moteur qui fait tourner la scie. On peut monter plusieurs scies circulaires sur le même arbre; et faire ainsi autant de traits de scie à la fois qu'on le veut; on sépare les lames de scie par des rondelles en fer, dont les faces sont parfaitement parallèles.

Une scie circulaire ne peut refendre que des pièces de bois dont l'épaisseur est, tout au plus, égale à son rayon, comme nous l'avons représenté, fig. 4.

Lorsque la pièce à scier a une épaisseur trop grande pour le rayon de la scie, on est obligé de la refendre en deux fois: on la refend d'abord jusqu'à une profondeur un peu plus grande que la moitié de son épaisseur, on la retourne ensuite pour la refendre sur l'autre moitié de son épaisseur et dans le même trait.

La fig. 5 représente la pièce A refendue d'abord sur une épaisseur o m de m en n . Pour éviter de retourner la pièce, et faire le double de travail dans le même temps, on emploie deux lames circulaires montées chacune sur un arbre et qui agissent en même temps pour ne former qu'un seul trait commun qui comprend toute l'épaisseur de la pièce à refendre. Cette disposition est représentée par deux projections verticales, fig. 6; les lames de scie a et b sont égales, et leurs faces sont dans les mêmes plans. Leurs arbres c , g sont parallèles; le même moteur les fait tourner en même temps avec la même vitesse et dans le même sens. L'une des scies a refend la moitié o m de l'épaisseur de la pièce; l'autre achève le sciage de o en p en pénétrant dans le trait de la première. La pièce à refendre est comme précédemment, poussée sur les scies par le même moteur qui les fait mouvoir.

En donnant à chaque lame de scie $0^m,38$ de rayon, on peut refendre par ce moyen des bois d'environ $0^m,76$ d'épaisseur. On ne peut que difficilement donner un plus grand rayon aux lames de scies, à moins de leur donner en même temps une épaisseur qui a l'inconvénient de consommer trop de bois, en ouvrant un trait trop large, et d'exiger plus de force pour le sciage.

On fait cependant des lames de scies circulaires qui ont jusqu'à 1 m. 30 c. et plus de diamètre; mais elles ne sont point propres à refendre des bois de charpente; on ne les emploie que pour le débit de bois précieux en feuilles très-minces de placage pour l'ébénisterie. Une scie de cette espèce est formée d'un plateau circulaire de métal qui peut avoir une épaisseur beaucoup plus grande que celle nécessaire pour l'empêcher de plier. Ce plateau est monté au bout de l'arbre tournant qui ne le dépasse point; son bord terminé en biseau sur la face par laquelle il est joint à l'arbre, est garni sur l'autre face d'une lame très-mince, formant en plusieurs pièces une large couronne plate dont la circonférence est taillée en scie. Dès que cette scie a pénétré dans le bois sur une certaine longueur, la feuille de placage très-mince qu'elle détache passe sur l'épaisseur du plateau; elle se courbe dès qu'elle rencontre l'arbre, sans qu'il en résulte aucun obstacle au progrès du sciage. Cette scie est de l'invention de M. Brunel.

On pourrait construire une scie à lame droite sans fin, qui passerait comme une courroie sur deux cylindres égaux et parallèles à la longueur de la pièce à refendre placés l'un au-dessus, l'autre au-dessous de cette pièce. Le cylindre supérieur serait libre sur son axe, l'autre serait fixé à volonté sur l'arbre auquel le moteur donnerait le mouvement de rotation. Des petites cames implantées sur le milieu de la surface de ce cylindre engreneraient dans de petites mortaisés percées au milieu de la lame sans fin, pour lui communiquer le mouvement, parce que le frottement sur les cylindres pourrait ne pas suffire pour l'entraîner et l'emporter sur la résistance du sciage. Le diamètre des cylindres et leur écartement qu'il serait aisé d'accorder avec le développement de la lame sans fin, seraient au moins égaux à la grosseur de la plus forte pièce à fendre. Mais la confection de cette sorte de lames, son prix, et la difficulté de réparer celles qui viendraient à se rompre s'opposent à l'adoption de ce système de scie, et lui font préférer les scies circulaires (1).

§ 8. *Aplanissement des bois sciés.*

L'équarrissage et le débit des bois à la scie ne dispensent point de les planer, de les mettre aux dimensions exactes de l'équarrissage qu'ils doivent avoir, et de les polir avant de les employer. Cette opération se fait de la manière que nous avons décrite, en parlant de l'équarrissage à la cognée, et l'on y emploie également la doloire, l'herminette, la besaiguë, et même la varlope dont se servent avec succès et avec raison les char-

(1) De belles scies sans fin fonctionnaient à l'Exposition universelle de 1867 à Paris.

pentiers de quelques départements. L'opération de planer les bois de charpente exige du temps et du soin; c'est ce qui la fait négliger souvent, même dans les circonstances où elle aurait été utile. Diverses machines ont été inventées pour être substituées à la main de l'homme, et obtenir en même temps un travail plus prompt et plus exact. Elles sont toutes conçues à peu près sur les mêmes principes; mais la plus parfaite paraît être celle de Bramah, qui se fait surtout remarquer par les ingénieux moyens dont il a usé pour tous les mouvements. Il en a construit plusieurs pour ses propres ateliers, et en a établi une à l'arsenal de la marine, à Woolwich, où elle a été employée notamment à planer les bois pour les affûts de canon. On en trouve une description détaillée avec figures dans l'*Industriel* (1).

Cette machine consiste en une roue horizontale en fer de 1^m,50 de diamètre, armée d'outils dépassant sa surface inférieure et qui coupent le bois transversalement, lorsque cette roue qui sert en même temps de volant est mise en mouvement. Douze gouges sont attachées à sa circonférence; elles dégrossissent les surfaces. Deux planes ou lames de rabot sont placées sur un même diamètre, un peu en dedans de la circonférence pour agir sur les parties que les gouges ont préparées.

Le mouvement de rotation est communiqué à la roue par deux roues d'angles; l'arbre horizontal de l'une d'elles prend le mouvement sur l'arbre ou moteur, au moyen d'une courroie; une poulie folle placée à côté de la poulie motrice reçoit cette courroie lorsqu'on veut arrêter le mouvement. Deux pièces de bois à planer sont soumises en même temps à l'action de la machine, une de chaque côté de l'arbre vertical de la roue qui porte les outils, et en dessous de cette roue. Elles sont montées sur deux chariots qui marchent horizontalement et parallèlement entre des coulisses, mais en sens contraire, étant entraînés par une chaînette sans fin qui passe sur deux poulies horizontales.

L'une de ces poulies porte sur son axe un petit pignon qui engrène dans une crémaillère fixée à la tige du piston d'un cylindre horizontal dans lequel l'eau est poussée, au moyen d'une petite pompe d'injection, en avant ou en arrière, de façon à faire avancer ou reculer le piston, et par conséquent la crémaillère et le chariot à la volonté de celui qui dirige le travail.

La roue qui porte les outils peut être élevée ou abaissée et fixée à la hauteur exigée pour l'épaisseur des pièces à planer par un moyen du même genre. La partie inférieure de son arbre porte dans un cylindre creux sur

(1) Publication qui paraissait en 1837.

la partie supérieure d'un piston qui lui sert de crapaudine, ce piston est exhaussé en introduisant de l'eau en dessous au moyen de la petite pompe d'injection; on l'abaisse en évacuant cette eau. Deux robinets suffisent au jeu de cette pompe, soit qu'il s'agisse de régler la hauteur de roue, soit qu'il s'agisse de faire mouvoir les chariots. La machine à vapeur qui sert de moteur est de la force de six chevaux, et elle donne le mouvement à la pompe d'injection.

Quelque ingénieuse que soit cette machine, et quelque bons que soient ses résultats, elle ne peut pas être généralement utile aux travaux des charpentiers, vu qu'elle ne peut pas être transportée sur différents chantiers de travail; sa place est dans les arsenaux et dans les grandes fabriques d'ouvrages en bois.

§ 9. *Choix du mode d'équarrissement.*

Il est rare que les scieurs de long soient employés à refendre des pièces de bois en planches et en madriers, parce que ces sortes de bois sont fournis par le commerce qui les tire à moindre prix des usines destinées à ce genre de travail. Il n'y a que lorsqu'on a besoin accidentellement de planches et de madriers d'une plus grande longueur ou de largeur et d'épaisseur différentes de celles dites marchandes, qu'on a recours au sciage de long pour les débiter.

Dans les grandes exploitations des forêts, on équarrit peu d'arbres à la scie de long, parce que ce mode d'équarrissement est là toujours plus cher que celui fait à la hache, et qu'il en résulterait un trop grand nombre de dosses dont la valeur ne présenterait point une indemnité suffisante. Le débit des arbres en planches, en madriers et autres menus bois dans les scieries, fournit une quantité de dosses plus que suffisante pour les besoins locaux, et généralement à la forêt comme dans les chantiers de travail, on n'équarrit à la scie de long à bras que les arbres d'un diamètre assez fort pour qu'on puisse tirer des dosses d'autres pièces équarrées sur des dimensions utiles.

Le plus communément les scieurs de long ne travaillent dans les ateliers de charpenterie que pour refendre les pièces achetées des marchands, aux dimensions nécessaires à la composition des charpentes.

Le commerce fournit quelques bois en grume provenant des petites exploitations faites à proximité des villes ou d'arbres d'alignement, et qu'on doit équarrir dans les chantiers. Dans ceux établis près des grandes constructions, l'équarrissage à la scie de long est souvent préférable à celui

fait à la cognée à cause du parti qu'on peut tirer des dosses à l'état brut, pour échafaudages, planches de roulage pour des brouettes, clôtures provisoires et autres objets pour lesquels il faudrait consommer des bois d'une plus grande valeur. Mais, le plus souvent, le choix entre l'équarrissement à la hache et l'équarrissement à la scie de long, dépend de la comparaison des frais occasionnés par l'un et l'autre modes avec la valeur des dosses, non pas sous le rapport de leur volume brut, mais sous celui des petits bois équarris qu'on peut en tirer.

Suivant Hassenfratz, les bûcherons et doleurs qui équarrirent les bois font, chacun dans une journée 10^m,20 de surface d'équarrissage, tandis que trois scieurs de long ne font ensemble, dans une journée, que 12^m,96; d'où il suit que chaque bûcheron produit un travail qui est presque quatre fois et demie celui d'un scieur de long. Mais il faut remarquer que les copeaux des bûcherons ne sont bons qu'à brûler, et ont par conséquent une très-faible valeur, tandis que les dosses ou levées faites par les scieurs de long peuvent en avoir une autant plus grande que l'arbre à équarrir est plus gros.

La première question qui regarde le choix du mode d'équarrissement, est la détermination du diamètre au-dessous duquel il n'y a aucun avantage à faire l'équarrissement des arbres à la scie, parce que les dosses ne produiraient aucun bois de service.

On conçoit que ce diamètre ne doit pas être le même pour toutes les espèces d'arbres, ni pour toutes les localités, à cause des différentes valeurs des bois, des différents prix des journées d'ouvriers, et enfin parce que les dimensions d'équarrissage des plus petits bois de service ne sont pas les mêmes partout.

Supposons que les plus petits bois qu'on emploie dans des travaux pour lesquels on équarrir des arbres sont des chevrons carrés et que l'on veuille que chaque dosse levée à la scie puisse en fournir deux, il s'agit de déterminer quel est le diamètre du cercle marquant le bois parfait d'un arbre qui donnera des dosses dans lesquelles on pourra débiter, aussi en bois parfait, deux chevrons. Voici la construction graphique qui résout cette question. On trace, fig. 11 pl. IV, deux lignes *MN*, *PQ*, perpendiculaires l'une à l'autre, dans les deux angles supérieurs, on construit les carrés qui représentent l'équarrissage des chevrons, l'un desquels est désigné par les lettres *GHIJ*; on comprend *IK* et *IL* égaux; du point *K*, avec le rayon *KL*, on décrit un arc de cercle *LF*, qui coupe en *O* la diagonale *GI* du carré. Ayant tracé *OK* par l'angle *G* du même carré, on trace pa-

rallèlement la ligne GC . Elle détermine le centre C du cercle du bois parfait et en est le rayon. Dans ce cercle se trouve inscrit le carré de l'équarrissage $ABED$. La démonstration de cette construction consiste à faire voir que la partie AC , égale au rayon GC , est sur la diagonale AE . Elle se déduit d'une similitude de triangles. Si l'on a fait cette construction de grandeur naturelle ou sur une grande échelle, on peut évaluer la grandeur du rayon et par conséquent celle du diamètre AE . Supposons, par exemple, que l'on ait donné $0^m,07$ aux chevrons, on trouve que le rayon est de $0^m,27$, et par conséquent, pour qu'on puisse tirer des dosses, des chevrons, de cet équarrissage, il faut que le cercle qui limite le bois parfait ait au moins $0^m,54$ de diamètre, ce qui suppose, aubier compris, un arbre d'environ $0^m,60$ de diamètre, duquel on pourra tirer une pièce principale dont le carré d'équarrissage $ABED$ aura $0^m,38$ de côté. Par conséquent, pour tout autre arbre dont le diamètre sera moindre, il n'y aura aucun avantage à faire l'équarrissement à la scie, parce qu'on ne pourra point tirer de chacune de ses dosses deux chevrons de $0^m,07$.

Le sciage, aussi bien que l'équarrissement à la hache, se paye dans les chantiers à raison de la superficie des faces des pièces après qu'elles sont équarrées. Il sera donc aisé de calculer si la valeur des huit chevrons qu'on peut tirer des dosses d'un arbre de $0^m,60$ de diamètre (bois et façon d'équarrissement compris), l'emporte sur la dépense du sciage pour l'équarrissement de la pièce principale.

La construction graphique que nous venons d'indiquer donne également la solution de la question pour le cas où l'on voudrait que les dosses pussent fournir, au lieu de deux chevrons carrés, des pièces méplatées comme celles tracées en RR , même figure.

Si, par quelque motif d'économie, ou parce que les chevrons ne seraient destinés qu'à des travaux peu importants, on voulait qu'ils fussent pris en partie dans l'aubier des dosses, comme la figure 12 les représente, la construction serait encore à peu près la même; seulement, au lieu de décrire un arc de cercle avec le rayon KL , il faudra le décrire avec le rayon KR égal à KL , augmenté de la quantité LR qui répond à l'épaisseur de l'aubier dont serait enveloppé le bois parfait, limité par le cercle qui aurait KL pour rayon.

La solution de ce problème d'équarrissement par l'analyse donne une construction qui a sur celle purement graphique l'avantage de pouvoir être exécutée avec le compas, sans qu'il soit besoin de tracer de parallèles, ce qui convient à la pratique de l'art du charpentier.

Soient, fig. 13, les deux lignes MN , PQ perpendiculaires l'une à l'autre et $GHIJ$ le rectangle d'équarrissage de la pièce que chaque dosse doit fournir. On fait JL , JF , RK égaux à GJ . On porte LF de L en O ; puis on porte KO de K en C . Le point C est le centre du cercle qui limite le bois parfait dans lequel la pièce principale aura pour figure d'équarrissage le carré $ABED$ (1), et dont les dosses donneront des pièces dont l'équarrissage sera déterminé par le rectangle donné $GHIJ$.

La seconde question relative au choix du mode d'équarrissement a pour objet de déterminer la plus grosse pièce équarrée que l'on peut tirer d'une dosse; c'est aussi la question qui se présente le plus souvent. Soit fig. 14, planche IV, $ABED$ le rectangle de l'équarrissage d'une pièce de bois pour un arbre dont le bois parfait est limité par le cercle auquel ce rectangle est inscrit. Pour apprécier s'il y a avantage à équarrir cet arbre à la scie de long, on veut estimer la valeur du plus fort bois équarri que les dosses puissent produire. Si le rectangle d'équarrissement $ABED$ est un carré, et que l'arbre soit rond, les quatre dosses sont égales; il suffit donc de résoudre la question pour l'une d'elles seulement, et elle se réduit à trouver la dimension du plus grand rectangle $GJPQ$ qu'on peut inscrire dans le segment BME , qui représente le bois parfait d'une dosse vue par le bout.

Cette question pourrait être résolue au moyen d'une courbe déterminée par points; mais la construction graphique résultant de l'analyse étant beaucoup plus simple, c'est elle que nous indiquerons.

Après avoir tracé la corde KM et la ligne CO , qui lui est perpendiculaire, on porte la longueur CO , de C en S (2) et du point H pris au quart de la longueur CI , on porte RS de R en H . Le point H détermine l'épaisseur de la plus forte pièce équarrée $G PQ J$ que l'on puisse tirer de la dosse BME (3).

(1) $GJ = a$, $GH = b$, RC , distance du centre du cercle cherché au trait de scie qui doit séparer une dosse $= x$. La condition de l'égalité de CG et de CA , rayons du même cercle, donne une équation de laquelle on tire $x = a \pm \sqrt{2a^2 + b^2}$. Dans la construction ci-dessus, $RK = a$ et $KO = KC = \sqrt{2a^2 + b^2}$. Le signe $-$ du radical répond à une solution qui n'est pas applicable à l'équarrissement.

(2) Pour le cas particulier représenté sur la fig. 14, dans lequel le rectangle d'équarrissage de la pièce principale est un carré, le point S se trouve sur la ligne AB .

(3) Si l'on fait CG , rayon du cercle $= a$, $CI = b$, $IH = x$, le rectangle $GHIJ = x\sqrt{a^2 - (b+x)^2}$. En traitant cette expression par la méthode des *maxima* pour que le

Si le bois parfait d'un arbre, au lieu d'être compris dans un cercle $NKML$, était limité par une ellipse $NK'ML'$, le rectangle de la plus forte pièce qu'on pourrait équarrir dans cet arbre serait $A'B'E'D'$, et la dosse répondant au plus grand axe aurait pour but le segment BME' . La pièce du plus fort équarrissage qu'on puisse tirer de cette dosse a la même épaisseur que celle qu'on peut tirer de la dosse représentée dans le segment de cercle BME , et la même construction donne, par conséquent, cette même épaisseur $I H$, ce qui tient au rapport qui existe entre le cercle et l'ellipse dont nous avons déjà parlé.

Connaissant les plus fortes dimensions des pièces équarrées qu'il est possible de tirer des dosses, rien n'est plus facile que de comparer la valeur de ces pièces, compris la dépense de leur équarrissement, avec la dépense de l'équarrissement à la scie de la pièce principale, et l'on voit si la valeur du volume du bois équarri produit par les dosses peut dédommager au moins de l'excédant de la dépense du sciage pour l'équarrissement de la pièce principale.

Souvent on se contente de réduire les dosses en planches qui ont l'épaisseur usitée dans le commerce; leur valeur se calcule rien qu'en raison des frais du sciage, tant pour l'équarrissement de la pièce principale que pour leur débit, et il n'y a alors davantage que si on leur trouve une valeur moindre que celles des planches de même espèce fournies par les marchands de bois.

§ 10. Fente des bois.

On a quelquefois besoin de refendre des bois suivant leur longueur, et, soit qu'on manque de scie de long, soit qu'il s'agisse d'ouvrages grossiers, on peut recourir au moyen expéditif de la fente.

Les bois résineux, tels que le pin et le sapin, sont d'une fente aisée, parce que leurs fibres sont droites et faciles à séparer. Soit qu'on ait coupé les arbres par billes, ou qu'on leur ait laissé toute leur longueur, on commence à ouvrir la fente avec des coins en fer ou, à défaut de coins en fer,

rectangle $GHIJ$, soit un maximum, on trouve $x = \frac{3}{4}b \pm \sqrt{\frac{1}{2}a^2 + \frac{1}{10}b^2}$ dont la construction indiquée est la traduction. $\overline{CS}^2 = \frac{1}{2}a^2$ et $\overline{CR}^2 = \frac{1}{10}b^2$, par conséquent $RS = \sqrt{\frac{1}{2}a^2 + \frac{1}{10}b^2}$, et $IR = \frac{3}{4}b$. Le signe — du radical donnerait le point H' répondant à la seconde solution qui n'est pas applicable à la question de l'équarrissement.

avec des coins en bois dur; on amorce leurs places à coups de hache; les gros coins en bois sont employés lorsque les premiers ont déterminé la fente; on frappe les uns et les autres avec des masses en fer ou de forts maillets en bois. Pour diriger la fente et éviter des éclats lorsque les arbres sont très-gros, on ouvre la fente de deux côtés à la fois, et par des points diamétralement opposés; dans tous les cas, on peut assurer sa direction au moyen de trous de tarière qui traversent l'arbre en passant exactement par le cœur.

Dans les bois durs, tels que le chêne, l'orme, etc., la fente est plus difficile; on parvient cependant à l'exécuter, en multipliant les trous de tarière. Mais on y parvient infailliblement et avec une grande régularité au moyen de la poudre de guerre qui supplée, dans tous les cas, les coins et donne moins de peine. On fait avec une tarière tout le long de l'arbre, sur la ligne par où la fente doit passer, une suite de trous qui doivent atteindre le cœur du bois; ces trous sont écartés d'environ 0^m,30 au moins l'un de l'autre, et au plus de 1 mètre. On y place une petite charge de poudre dont le poids dépend, comme l'écartement des trous de tarière, du diamètre de l'arbre et de la ténacité de son bois; chaque trou est ensuite bouché par une cheville fortement chassée à coups de maillet. On a eu soin préalablement d'enlever le long de chaque cheville un petit segment pour laisser un vide qu'on remplit de poudre. Une trainée convenablement compassée fait arriver le feu partout en même temps. Un bout d'araadou qui brûle lentement laisse le temps de s'éloigner.

L'explosion simultanée de toutes les charges fend l'arbre exactement en deux parties qu'on peut refendre encore, par le même moyen, en autant de quartiers que l'on veut. Ces quartiers peuvent ensuite être équarris à la hache, travaillés et même polis pour les besoins des travaux auxquels on les a destinés.

§ 11. Débit des bois.

Le débit des bois a pour objet de partager les arbres en pièces de petits échantillons, suivant les longueurs, largeurs et épaisseurs usitées dans les travaux, en apportant dans cette opération l'économie que nécessite la valeur de cette matière, dont il se fait une si grande consommation.

On ne débite ordinairement en menus bois que ce qui reste des corps d'arbres, après qu'on a pris la partie qui doit fournir les pièces équarrées pour la construction des charpentes.

Pour faire des planches, on commence par couper la partie de l'arbre qu'on veut débiter en billes (1), dont les longueurs sont combinées avec leurs grosseurs, qui décroissent de plus en plus en s'écartant de la souche, de façon que les planches aient des dimensions assorties aux besoins habituels, et qu'on puisse en tirer le plus grand nombre de chaque bille. Une bille qui doit être refendue en planches est d'abord dépouillée de son écorce; on établit sur ses bouts les divisions des planches, ayant égard au bois consommé par la voie de la scie, et en observant que les divisions des deux bouts doivent être exactement parallèles, afin que les lignes battues sur la surface de la bille et qui marquent le chemin que suivra la scie soient bien parallèles, et qu'elles se correspondent deux à deux dans un même plan, pour que les planches n'aient point de gauche, vice qui diminuerait leur valeur et qui pourrait les faire rebuter.

La bille à débiter est alors établie sur les chevalets pour opérer la séparation des planches une à une au moyen du sciage de long que nous avons décrit. Pour la facilité du maniement du bois pendant le sciage, les planches ne sont pas complètement séparées les unes des autres; on les laisse réunies par un bout sur environ 55 millimètres de leur longueur.

Dans les scieries où le travail du sciage est fait par des machines, on n'a pas besoin de tracer avec tant de détail le débit des pièces de bois à refendre. Il suffit de battre longitudinalement sur la surface de la bille à débiter une seule ligne parallèle à la direction des fibres, pour servir de directrice, lorsqu'on établit cette bille sur le chariot qui la pousse contre les lames de la scie. La régularité du sciage ne dépend alors que de la perfection de la machine.

En débitant des corps d'arbres ronds en planches ou en madriers, il en résulte que toutes les planches ou tous les madriers ont des largeurs différentes, comme on en voit le tracé, fig. 9 planche XI; il faut alors équarrir les bords après le sciage, fig. 10. Pour cela, on place les planches à plat les unes sur les autres, fig. 11, les plus larges en dessous, et de telle sorte que tous les traits qui marquent l'équarrissement des bords d'un des côtés de chaque planche coïncident avec un fil à plomb $m n$; un seul trait de scie les équarrit toutes en même temps. On opère de même pour les autres bords des planches; de cette façon, il n'y a presque point de

(1) On appelle *billes* les tronçons d'un corps d'arbre; les plus courts sont nommés *billots*.

bois perdu; mais on préfère, pour le commerce des bois, que les planches soient toutes de la même largeur, ou au moins classées sur des largeurs fixes et usitées. A cet effet, avant de débiter une bille, on commence par lever sur toute sa longueur deux dosses *A A*, fig. 17. Ainsi réduite à une épaisseur donnée, on pose la bille à plat et on la débite en planches qui ont toutes une même largeur voulue, et l'on trouve aux deux côtés deux petites dosses *B B*. Une bille de 0^m,54 au petit bout, débitée de cette sorte, peut fournir 16 planches de 0^m,325 de largeur franche d'un bout à l'autre, et deux planches qui peuvent avoir un peu de flache à un bout. Les dosses *A* sont assez fortes pour qu'on puisse en tirer encore quelques bois de petit équarrissage qui peuvent être utilisés, ou même d'autres planches, comme dans la fig. 15.

Lorsque, dans une grande exploitation, les plus gros arbres fournissent plus de pièces équarrées que les besoins du commerce n'en demandent, une partie est envoyée aux scieries pour être débitée en planches, plateaux ou madriers. Ces arbres, ordinairement fort gros, fourniraient des planches plus larges que celles qu'on est dans l'usage d'employer : ils sont alors tronçonnés en billes aux longueurs marchandes et refendus en quatre quartiers, comme on en voit la division, fig. 12. Chacun de ces quartiers est ensuite divisé en planches qui sont d'inégales largeurs, comme celui *A* de la fig. 13, à moins que l'arbre ne soit d'un diamètre assez fort pour que chaque quartier *B*, fig. 14, soit équarri par la levée de deux demi-dosses *D D*, afin d'en tirer des planches égales et de largeur suffisante pour le commerce. Quelquefois la grosseur de l'arbre est telle que les demi-dosses fournissent encore quelques planches qui ont une largeur usitée, quoique plus étroites.

Il est souvent plus avantageux de ne pas refendre les grosses billes en quatre quartiers, mais de débiter dans leur milieu, fig. 15, une série de planches dont la largeur est déterminée par la levée de dosses plus fortes dans lesquelles on débite encore des planches de même largeur. Le débit d'un arbre de 0^m,54 réduit en quartiers équarris, fig. 14, donne 7 planches par quartier, et par conséquent 28 planches de 0^m,19 de largeur, tandis que, débité suivant la division indiquée, fig. 15, il donne à la vérité le même nombre de planches, mais elles ont 8^m,216 de largeur au lieu de 0^m,19 et elles laissent quatre *cantibais* *E*, qui ont plus de valeur que les huit demi-dosses obtenues par l'autre division.

Pour déterminer la meilleure distribution du débit en planches comme en autres pièces de petit équarrissage, on trace sur le bout de la bille autant de carrés de 27 millimètres qu'il peut en contenir, fig. 16; on cherche

alors quelle est la combinaison de ces carrés qui marque le plus grand nombre de planches ou autres bois qu'on peut débiter dans cette bille; cette méthode donne, pour le produit d'une bille de 0^m,54, 32 planches de 27 millimètres d'épaisseur sur 0^m,215 de largeur, et elle laisse encore quatre *cantibais E*, qui peuvent être équarris sur 0^m,054 d'épaisseur.

La fig. 5 est le bout d'une bille provenant d'un arbre elliptique sur lequel on a représenté la division en quatre quartiers et deux manières de débiter ces quartiers en planches, suivant qu'on veut, malgré leur inégalité, qu'elles soient larges ou étroites. La fig. 3 répond au débit d'une bille elliptique analogue à celui d'une bille ronde, fig. 15 et 16. La partie inférieure présente une division en 29 planches qui laissent de forts *cantibais D D*, et dans la partie supérieure une division qui peut produire 34 planches; mais les *cantibais C C*, *B B* sont d'une moindre valeur; enfin, la fig. 4 présente un autre système de division duquel on peut tirer 38 planches, débitées dans un meilleur sens.

On débite encore les planches d'une autre manière dans des arbres refendus par 4 ou 6 quartiers, fig. 18 et 20, et le trait de scie dans chaque quartier n'est parallèle à aucune des faces, mais il est également incliné par rapport à toutes deux. Cette méthode, dite hollandaise, a l'inconvénient de donner des planches qui diffèrent toutes de largeur et dont les bords ne sont point équarris. La fig. 19 présente le bout d'un quartier tracé pour être débité suivant cette méthode; c'est le même quartier qu'on a supposé établi sur les chevalets, fig. 11, pl. VII, prêt à recevoir l'action de la scie de long. Dans cette figure, il est assujéti par des cales, mais quand on a une grande quantité de pièces de cette sorte à débiter, il est préférable de les établir sur des tasseaux échanérés, comme dans la fig. 19, pl. XI. La fig. 21 présente deux quartiers de la division en six réunis et établis pour être sciés.

La division des corps d'arbres par cette méthode de débit ne peut être exécutée à la scie de long qu'en nombre pair de quartiers, à cause de la nécessité de faire traverser tout le diamètre *ab* de l'arbre, fig. 20, par la lame de la scie; ainsi il y a impossibilité de refendre une bille en cinq quartiers égaux à la scie de long, comme est représentée celle de la fig. 22, qui donnerait sur chaque quartier une planche en plein bois *cd*; mais cette division peut être faite au moyen de la scie circulaire, la profondeur du trait étant réglée de façon à ne point dépasser le cœur du bois.

On a observé que le sens suivant lequel les planches et les madriers sont débités par rapport à la texture du bois n'est pas indifférent pour la

qualité des ouvrages auxquels ils sont employés. En examinant la coupe d'un arbre faite perpendiculairement à sa longueur, que cet arbre soit rond, fig. 7, pl. XI, ou qu'il soit elliptique, fig. 1, ou même équarri, fig. 2 et 8; on aperçoit deux sortes de lignes qui marquent l'organisation végétale : les unes sont circulaires et concentriques, elles répondent, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, aux couches de l'accroissement annuel; les autres sont normales aux premières, elles résultent des éléments du tissu cellulaire par lesquels circulent les liquides intérieurs. Lorsque le bois est fendu exactement sur les directions de ces éléments, ils se séparent en deux lames, ou larges plaques brillantes, qui sont appelées mailles par les ouvriers en bois; probablement parce qu'elles paraissent lier les couches annuelles entre elles. On dit qu'une pièce de bois est sciée ou fendue sur la maille, lorsqu'elle est débitée par des plans passant par les mailles, et conséquemment pour les arbres ronds passant par le cœur.

Les pores du bois qui sont dirigés en ce sens sont plus avides et plus conducteurs de l'humidité que ceux dirigés dans le sens des couches annuelles. Les planches qui se trouvent débitées de façon que les mailles sont tranchées et qu'elles aboutissent à leurs faces sont très-sensibles aux impressions hygrométriques. Une planche de cette sorte, *a b c d*, est représentée par le bout, fig. 7, pl. VI, à la place où elle a été débitée dans un arbre rond. Cette planche augmente de largeur par l'effet de l'humidité, parce que les pores des mailles dirigés suivant des rayons *e f* aboutissent à ses faces *a b*, *d e*; de plus, elle se voile et prend la forme représentée dans la fig. 8, parce que les mêmes pores sont plus nombreux et plus serrés sur la face *a b* que sur la face *d e*. Quoique la sécheresse puisse lui faire reprendre sa dimension, elle ne recouvre jamais sa forme plane. Si une autre planche *a' b' c' d'*, sciée en même position, fig. 7, est exposée à une grande sécheresse avant qu'elle soit atteinte par l'humidité, elle se rétrécit et se voile en sens contraire, comme en *a' b' c' d'*, fig. 8. Ainsi, les alternatives de sécheresse et d'humidité peuvent faire changer la largeur et la courbure d'une planche et la rendre très-difforme si elle est sciée dans un mauvais sens.

Le même effet n'a pas lieu sur une planche *E* sciée par le cœur à peu près parallèlement aux mailles ou du moins symétriquement, fig. 7; elle augmente moins de largeur par l'effet de l'humidité; elle se resserre moins dans la sécheresse; elle conserve la régularité de sa forme, fig. 8.

Ce sont les changements hygrométriques, et notamment les sécheresses trop arides, qui, en agissant sur les pores rayonnants, font gercer et

fendre les pièces de bois précisément dans le sens des mailles, comme on le voit planche VI, sur la coupe d'un arbre en grume, fig. 9, et sur celle d'une pièce équarrie, fig. 10. Les couches intérieures ne subissant point une dessiccation aussi rapide que celles du dehors, ne prennent pas un retrait aussi grand, et celles-ci sont forcées de se fendre. La même cause continuant d'agir dans la profondeur du bois, les fentes peuvent gagner le cœur; c'est pourquoi il importe de ne pas hâter trop la dessiccation du bois. Les pièces de bois équarries sont un peu moins sujettes à se fendre, et celles débitées le sont encore moins. Quelques personnes disent, en voyant sur une pièce de bois de nombreuses fentes dans le sens de ses fibres, *que c'est ce qui fait sa force* : c'est une erreur; les fentes altèrent toujours la force d'une pièce de bois, à cause de la désunion des fibres qui en résulte.

De tous les modes de débit des planches, le plus vicieux, par les raisons que nous avons exposées plus haut, est celui tracé sur le quartier E, fig. 13, pl. XI, désigné par le nom de *sciage sur les cercles annuels*.

Pour remédier au grave inconvénient qui peut résulter du sens suivant lequel les planches peuvent être débitées, on a imaginé de faire passer tous les traits de scie par le cœur de l'arbre. Ainsi, après avoir refendu la bille à débiter en quatre quartiers, fig. 12, et avoir enlevé l'arête qui répond au cœur par un pan coupé *p o*, fig. 14, fait à la hache, ou à l'herminette, ou par une gouttière *g o* faite à l'herminette à gouge, on divise les quartiers par des traces tendant au centre, fig. 23. Il en résulte des planches qui sont toutes égales; à la vérité, elles n'ont point la même épaisseur sur leurs deux bords; mais elles sont toutes débitées sur la maille du bois, et propres aux meilleurs ouvrages. On les réduit à une épaisseur uniforme avec la varlope, en enlevant du bois sur l'une des faces, et en conservant la maille intacte sur l'autre pour le parement de l'ouvrage qui doit être apparent. Non-seulement le travail est meilleur et les planches ainsi débitées ne se voilent pas, mais l'ouvrage est en même temps plus beau; surtout pour ceux en chêne, parce que ce bois, poli au rabot sur ses mailles, présente une foule de ses lames brillantes. Pour débiter les planches suivant cette méthode, on place le quartier à débiter dans les entailles de deux tasseaux, comme ceux *m n* des fig. 24 et 25. Ces tasseaux sont attachés sur les sommiers des chevalets de scieurs de long; on cale les quartiers avec des coins *f, e*, de façon que l'une des traces *a b*, fig. 24, coïncide avec le fil à plomb *p q*. Lorsque le trait *e b* est scié, on fait passer le coin *e* du même côté que le coin *f*, pour qu'une autre trace

c d, fig. 25, vienne coïncider avec le fil à plomb. En faisant passer d'un côté à l'autre les coins et les planches sciées, on les combine de telle sorte que toutes les traces se présentent à leur tour à l'action de la scie.

Pour éviter la perte du bois qu'on est obligé d'enlever pour réduire les planches refendues en couteau à une épaisseur égale, on a pratiqué différents autres modes de division, qui ne donnent cependant pas un sciage aussi uniformément bon. Suivant l'un de ces modes, on débite d'abord des madriers ou des planches *A*, fig. 26, qui prennent environ le tiers de la grosseur de la bille en plein bois, et dont la largeur comprend son diamètre entier. On refend perpendiculairement d'autres planches étroites *B* ou des madriers *B'* dans les dosses; il reste quatre cantibais. En débitant, comme dans la fig. 27, trois madriers *D* ou un nombre impair de planches en plein bois, la pièce du milieu est de choix et presque sur la maille. Pour refendre les dosses *B*, *B'*, on les applique l'une sur l'autre, comme dans la fig. 28.

Un autre mode de débit consiste à lever d'abord un large madrier *A*, fig. 29, en plein cœur de bois, et deux autres plus étroits *B*, à angle droit, qui se trouvent également refendus en plein bois. Les faces de ces madriers coupent symétriquement les cercles annuels; leur sciage est presque sur la maille.

Les quatre quartiers *C*, *D*, *E*, *F*, sont refendus en planches, comme en *D* et *F*, suivant la méthode hollandaise, ou par des plans convergents, comme en *E*, ou enfin exactement sur la maille, comme en *C*. On pourrait aussi débiter les quartiers comme celui *A* de la fig. 13; on aurait moins de perte de bois, mais le sciage serait moins bon.

Enfin, l'on fend aussi la bille à débiter en quatre quartiers, fig. 30, par deux traits *a b*, *d e* qui se croisent à angle droit au cœur ou centre *c*, et chaque quartier est ensuite refendu par des traits de scie alternativement parallèles aux deux premiers. Ce mode a l'avantage que les traits de scie sont le moins possible tangents à des cercles annuels, et qu'ils les coupent, au contraire, sous des inclinaisons qui s'éloignent le moins possible aussi de l'angle droit. La fig. 6 représente deux modes du débit des planches dans un arbre elliptique.

Malgré les avantages plus ou moins grands de ces différents modes de débit pour la qualité des planches, on continue, dans les usines, à les scier suivant des épaisseurs égales d'un côté à l'autre et toutes parallèles dans une même bille, parce que tout autre système entraînerait dans des détails de main-d'œuvre et des complications de machines qui augmenteraient les

prix. Lorsque les travaux exigent des planches ou des madriers de choix, on se les procure en triant dans les magasins ceux qui se trouvent sciés dans le meilleur sens, ou bien on les débite exprès à la scie de long dans les chantiers, seuls lieux où ces modes de sciage puissent être pratiqués.

Moreau, ancien marchand de bois de construction à Paris, a proposé et fait exécuter pour lui le débit des arbres en grume, suivant les divisions tracées sur la fig. 31, qui donne en même temps des madriers A , B , B' , sciés symétriquement par rapport à la maille du bois, et d'autres madriers dans lesquels l'une des faces coupe les cercles annuels à peu près perpendiculairement, ce qui fait que, pour les madriers principaux et pour ceux tirés immédiatement à côté, le sciage est symétrique par rapport à la maille. On peut tirer des cantibais de petites pièces carrées, telles que des chevrons. Cette méthode, comme la précédente, tient donc à peu près le milieu entre celle du débit ordinaire et celle du débit sur la maille; elle a cependant, comme la précédente, dans la pratique, un assez grave inconvénient qui est d'exiger un fréquent maniement des pièces pour leur établissement en sciage sur les chevalets des scieurs de long. Après que le madrier principal A , fig. 31, est levé, il faut réunir les dosses et leur donner la position qu'elles ont, fig. 32, pour lever les madriers B et B' ; après quoi il faut réunir les quatre quartiers, comme dans la fig. 33, pour lever les madriers de troisième largeur a , b , a' , b' . Ce qui en reste doit encore être réuni, en donnant quartier, fig. 34, pour scier les madriers de quatrième largeur c , c' , d , d' , et donner les traits de scie 1-2, 3-4, qui enlèvent les cantibais x , v , x , v' , pour commencer l'équarrissement des chevrons e , e' , g , g' . Il faut enfin réunir ce qui reste, en donnant quartier, fig. 35, pour achever d'équarrir les chevrons par les traits de scie 5-6, 7-8, en enlevant les cantibais u , u' , x , x' .

On peut, en faisant un léger changement à la méthode de Moreau, diminuer la main-d'œuvre pour établir les dosses et quartiers en position de sciage. Ce changement est représenté, fig. 36; il consiste, après qu'on a levé le principal madrier A , dans le tracé des madriers de troisième largeur C qu'on établit parallèlement à ceux de deuxième largeur B , B' ; en rapprochant les dosses, comme dans la fig. 37, les quatre traits de scie 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 se trouvent parallèles, et l'on n'a à changer l'établissement en sciage que trois fois au lieu de quatre.

On a peut-être porté trop loin le mérite de cette méthode; car on est forcé de reconnaître que, dans la disposition des traits de scie qu'elle prescrit, il ne peut manquer de s'en trouver, comme dans les méthodes

ordinaires, un certain nombre qui débitent le bois sur les cercles annuels, ou qui s'en écartent peu. De plus, la surface du sciage est la même, et enfin, le maniement des pièces pour les présenter à la scie de long est plus grand; ainsi, en dernier résultat, elle n'a pas autant de supériorité qu'on pourrait le croire au premier aspect. Mais on ne saurait lui contester le mérite d'avoir sorti les ouvriers de la routine et de leur avoir enseigné qu'on peut combiner de diverses manières les traits de scie dans le débit d'un arbre pour en tirer le meilleur parti. En cela, Moreau a rendu un grand service à l'art.

La fig. 38 présente la division d'un arbre en pièces carrées. Au moyen de grands traits de scie perpendiculaires deux à deux, on refend cinq pièces carrées dans un arbre. On obtient la largeur $a b$ de chacune des pièces principales par la détermination du point a , en portant de c en d trois parties, une de d en e , et en tirant le rayon $c e$, qui coupe en a la circonférence du cercle du bois parfait; les petites pièces carrées sont déterminées par la diagonale $m n$.

Si l'on voulait que les petites pièces carrées fussent sciées de façon que leurs faces rencontraient les cercles annuels et les mailles du bois de la même manière que les faces des principales pièces, comme celle ponctuée en $u v x z$, la détermination de leur position et de leur dimension s'obtiendrait par la même construction : on porterait trois parties de $o p$ et une de p en q . La ligne $o q$ déterminerait la position de l'angle x .

Au surplus, la perfection du débit des pièces de charpente consiste à choisir les équarrissages des pièces et à combiner les traits de scie qu'on doit leur donner pour les refendre aux dimensions nécessaires, de façon qu'aucune des petites pièces ne soit perdue, et qu'elles puissent toutes trouver leur emploi dans la charpente pour laquelle les bois sont approvisionnés.

§ 12. Débit du bois perpendiculairement à son fil.

On coupe le bois perpendiculairement à son fil pour séparer les arbres de leur souche ou les débarrasser de la tête formée par leurs branchages et pour les réduire en tronçons et en billes dont les longueurs sont déterminées par les usages auxquels ils sont destinés, ou que le commerce du bois exige. Ainsi, on partage la longueur du corps d'un arbre qui doit être débité en planches, en madriers, en chevrons et en solives, par billes qui ont les longueurs habituelles de ces sortes de bois, et l'on scie des billots pour des moyeux de roue, d'autres pour être refendus en lattes, en

douves, en bardeaux, et pour une foule d'objets en bois qui sont travaillés à la forêt ou dans de grandes fabriques.

La scie à main est l'outil employé pour les bois de petit diamètre ; mais, pour les gros corps d'arbre, on se sert de la grande scie, que deux hommes font mouvoir, et qu'on nomme passe-partout, parce que rien ne limite la grosseur du bois que sa lame peut traverser. Nous en avons donné une description, planche II, fig. 15.

Lorsque le travail exige un sciage très-considérable en tronçons, on peut recourir à des scies mues par des machines. M. Hack a composé une scierie à tronçonner, qui est décrite au *Bulletin* de la Société d'encouragement, dans laquelle une forte scie ordinaire reçoit son mouvement de va-et-vient horizontal au moyen d'une bielle ; une combinaison de poids la fait descendre verticalement à mesure que le sciage avance et jusqu'à ce qu'elle ait parcouru tout le diamètre de l'arbre.

Dans l'opération du recepage des pieux pour les fondations des constructions hydrauliques, le bois est scié de niveau perpendiculairement à son fil.

On trouve, dans le 4^e volume de l'Architecture de Belidor, la description d'une machine en bois, composée vers 1766, par Peronnet, pour mouvoir une grande lame de scie et recevoir au même niveau les pilotis de la fondation d'une pile de pont. Cette machine, mue par des ouvriers placés sur un échafaudage au-dessus de l'eau, aurait scié tous les pilotis sur la largeur de la pile et de l'avant à l'arrière-bec ; cependant elle ne fut point employée, à cause de la trop grande longueur de la lame ; quoique l'on eût scié des vaisseaux sur leur largeur avec une lame de scie beaucoup plus longue.

Depuis, M. de Voglie s'est servi d'une machine semblable, construite en fer pour le recepage des pilotis des fondations du pont de Saumur, mais la lame n'avait que l'étendue nécessaire pour scier les pilots un à un. Elle est décrite dans l'ouvrage de Patte, intitulé : *Mémoires sur les objets les plus importants de l'architecture*.

En 1775, le sieur David présenta à l'Académie de Rouen le modèle d'une scie circulaire destinée au recepage des pilotis. Elle est mentionnée au *Journal encyclopédique* de 1776, et au *Journal de physique* du même temps. Il paraît même que c'est ce qui a donné lieu d'appliquer au sciage du bois une lame circulaire qui jusque-là n'avait été employée qu'en petit, et sous le nom de fraise, pour le travail des métaux, et notamment par les mécaniciens et les horlogers, pour fendre les dents des roues.

La scie circulaire a été aussi proposée pour l'abatage des arbres. Nous avons cité celles de MM. Jack et Vallance.

M. Brunel a appliqué la scie circulaire au débit du bois par tronçons. Elle est montée dans une combinaison de châssis qui permet à son axe de prendre toutes les positions parallèles autour de l'arbre à tronçonner sans que la lame cesse d'être dans un même plan ou trait de sciage, de façon que dans le même temps que le mouvement de rotation est transmis du moteur à la scie au moyen de courroies, on peut la faire voyager autour d'un arbre d'un diamètre presque égal au sien, et qu'elle peut atteindre dans toutes ses positions le cœur du bois.

Cette scie est décrite avec beaucoup de détails dans le journal intitulé : *l'Industriel* (1); elle est établie dans l'arsenal de Portsmouth, où elle est employée au débit du bois pour la fabrication des poulies.

Il n'y a aucun doute que ces machines pourraient être employées à tronçonner des bois pour toutes sortes d'usages. Mais, jusqu'à présent, on n'en a pas construit qui fussent transportables. Il serait difficile, à cause de leur volume et des moyens moteurs, de les appliquer au sciage des bois de charpente, qui ne peuvent être coupés de longueur que sur les lieux où ils doivent être débités ou employés dans les constructions.

Le passe-partout, outil maniable et facile à transporter, suffit aux besoins du bûcheron et du charpentier. Ainsi, les scies dont il vient d'être question ne peuvent pas être considérées comme des outils usuels; c'est pourquoi nous nous sommes contenté de les citer et d'indiquer les ouvrages où se trouvent leurs descriptions, pour ceux qui auraient besoin d'en connaître les détails.

(1) Ce journal paraissait en 1837.

CHAPITRE IV.

TRANSPORT DES BOIS.

Le transport des bois de charpente, depuis les lieux où ils sont abattus jusqu'aux points où ils sont employés, s'effectue par divers moyens, suivant qu'il s'agit de l'extraction de la forêt pour les réunir sur les points de dépôt et de travail pour leur débit, ou de les conduire aux chantiers de consommation, ou enfin de les mouvoir sur les chantiers pour le travail de leur mise en œuvre. Nous n'entrerons point dans de longs développements sur l'extraction de la forêt, attendu que les charpentiers n'ont jamais à s'en occuper, à moins qu'ils ne se livrent à quelques grandes exploitations, auquel cas, il est indispensable qu'ils fassent des études spéciales qui sont indépendantes de leur profession. Mais il est au moins utile qu'ils aient quelques notions des travaux de transport qui sont nécessaires pour leur livrer des bois d'un volume aussi considérable que les grandes constructions l'exigent, et qui sont souvent tirés de localités où l'homme ne pénètre jamais que pour leur exploitation.

§ 1. *Extraction des forêts.*

Dans toute exploitation de forêt, soit qu'on fasse une coupe générale, soit qu'on borne l'exploitation à quelques abatis partiels ou à celle de quelques sujets disséminés dans ses différents quartiers, l'abatage des arbres est toujours dirigé de manière à rendre leur extraction facile. On profite des routes dont les forêts peuvent être percées, ou l'on en ouvre de nouvelles en conduisant d'abord la coupe sur les directions qu'on veut leur donner, de façon que ces routes aboutissent au point où l'on veut rassembler les bois abattus, soit en grume, soit équarris.

Les corps d'arbres destinés à faire des pièces de charpente, dégagés de leurs branches et de leurs souches, sont amenés sur les routes; on les fait traîner jusque-là par des chevaux ou des bœufs qu'on y attelle au moyen d'un crochet dont la pointe est enfoncée à coups de marteau dans le bois,

et qui reçoit l'attache des traits dans l'anneau qu'il porte à sa queue. L'usage des bœufs est préférable, malgré la lenteur de leur travail, à cause de la constance de leurs efforts, qu'aucun obstacle ne rebute. Si la forêt est en pays de plaine, les corps d'arbres étant réunis sur l'une de ces routes, on les charge sur des voitures qui les conduisent aux lieux de dépôt. Le plus souvent, les corps d'arbres sont équarris dans la forêt, afin de diminuer leur poids et de rendre leur chargement et leur transport par voitures plus faciles (1).

Le chargement sur les voitures pour extraire les arbres hors des forêts est à peu près le même que celui qui a lieu dans toutes les circonstances où il s'agit de les transporter d'un lieu à un autre. Nous renvoyons donc la description des moyens de chargement des bois au § 3, où nous parlerons des voitures sur lesquelles on les conduit aux chantiers de travail et aux lieux où ils sont mis en œuvre.

Les routes que l'on ouvre dans les forêts pour l'extraction des bois ne comportent point de travaux du même genre que ceux qu'exige la construction des routes destinées au service public. On ne donne aux routes ouvertes dans les forêts que la largeur nécessaire au passage des voitures, parce que celles qui sont chargées marchent toujours dans le même sens, et que les voitures vides qui marchent en sens contraire se rangent dans des places qu'on leur a ménagées à divers intervalles. On n'a besoin de donner plus de largeur à ces routes que dans les endroits où elles changent subitement de direction, et où il faut qu'on trouve l'espace nécessaire à l'obliquité que prennent les pièces de bois pendant que les voitures tournent. À l'égard du sol, pour peu qu'il soit ferme, on le laisse tel qu'il est; il suffit, pour entretenir les routes, de répandre du gravier que les voitures vides rapportent. On a soin de ne leur donner qu'une pente praticable aux voitures. Dans les parties qui se creusent trop, on rapporte des pierres; enfin, sur les terrains marécageux, on étend transversalement des fascines ou des rondins tirés des branches les moins utiles, qui consolident le sol et permettent aux voitures de rouler.

Pour diminuer le nombre des animaux employés à charrier les bois, on peut boiser les routes des forêts comme celles des mines. Ce qui consiste à les garnir longitudinalement de deux coulisses en bois parallèles, sur les-

(1) L'équarrissage diminue le volume et par conséquent le poids d'un corps d'arbre de plus du tiers.

quelles roulent les chariots, disposition qui a servi de modèle aux chemins de fer, que l'on multiplie aujourd'hui. Cependant l'activité des exploitations forestières ne paraît pas pouvoir motiver la dépense de l'établissement spécial d'un chemin de fer. On cherche, au contraire, à diminuer autant que possible les frais de construction des routes, qui ne servent que pendant la durée des exploitations.

On conçoit que, malgré toutes les réductions des dimensions et des moyens de consolidation auxquelles on peut s'astreindre, le premier établissement et l'entretien des routes qu'il faudrait ouvrir pour l'exploitation d'une forêt sur des pentes escarpées, occasionnerait de grandes dépenses à cause des longs circuits qu'il s'agirait de leur faire suivre pour les rendre praticables. L'inconvénient de ces longs détours et les frais qu'ils nécessitent pour la conduite des voitures, a fait recourir à d'autres moyens de transport pour l'extraction des bois exploités dans les pays montagneux.

Les lieux de débit et de consommation des bois étant en général plus bas que ceux où les exploitations dont nous parlons sont faites, on profite de la déclivité des flancs de montagnes pour établir des couloirs naturels ou artificiels au moyen desquels les bois descendent par leur propre poids et arrivent aux points de rassemblement, où on leur fait subir le premier travail, et d'où ils sont expédiés par eau ou par terre aux lieux où ils doivent être employés.

Lorsque quelque pente de la montagne sur laquelle on exploite peut être dressée et que le terrain est assez ferme, le couloir se fait sur le sol même. Les arbres sont alors trainés jusque sur le bord de la pente, et dès qu'ils y sont poussés, ils roulent jusqu'au bas. Lorsque le sol manque de fermeté, on le consolide par des pièces de bois couchées suivant la ligne de pente. Cette méthode a quelquefois l'inconvénient de détériorer les arbres, surtout lorsque la rampe est trop raide, parce qu'ils acquièrent une très-grande vitesse, et qu'alors un choc trop violent peut les rompre ou occasionner quelques fentes dans le sens de leurs fibres. Il est préférable, pour les bois destinés aux constructions, de leur faire descendre les pentes suivant leur longueur. Lorsque le sol de la pente de la montagne n'a ni la qualité ni la forme qui conviennent pour être disposé en couloirs, on en construit en bois qui s'écartent du sol pour conserver des pentes uniformes en suivant les flancs de la montagne, et qui traversent même des vallons de manière à porter les bois jusqu'à la dernière limite du trajet qu'on doit leur faire parcourir.

Ces couloirs sont composés de troncs d'arbres placés les uns à côté des autres, maintenus jointifs par des piquets lorsqu'ils reposent sur le sol, ou par divers moyens de chevalement en charpente lorsqu'ils s'élèvent au-dessus, de façon à former un plan incliné, quelquefois accompagné de deux bordures également en corps d'arbres. Pour que les bois ne s'écartent point de leur route, on peut former les couloirs en rigoles.

Ces couloirs ont une inclinaison suffisante pour que les bois y soient entraînés par leur propre pesanteur. Il ne faut pas pour cela qu'ils soient plus raides que sous un angle de 20 degrés, et, pour diminuer le frottement qui use en même temps les couloirs et les arbres qui descendent, on y amène de l'eau, qui les entretient toujours humides et les rend plus glissants. Souvent les rigoles sont formées de pièces creusées profondément et réunies avec soin, qui ne peuvent contenir qu'un seul arbre, et qui reçoivent l'eau en abondance.

De quelque façon que les couloirs soient faits, ils sont tracés comme les routes par grandes parties en lignes droites; dans les endroits où il est nécessaire d'établir des coudes, on a soin de faciliter le glissement des pièces en faisant faire aux couloirs de grands contours; et lorsqu'ils doivent traverser quelques ravins, on les soutient sur des espèces de ponts. Mais quelque soin qu'on prenne dans la construction de ces couloirs, soit à sec, soit à eau, le frottement use en même temps les bois des couloirs et les pièces qui les parcourent. Pour conserver les bois tels qu'ils ont été abattus, et notamment les bois équarris, au lieu de les abandonner à des couloirs simples, on réunit plusieurs pièces sur des traîneaux légers que des hommes conduisent dans les pentes de la montagne sur des chemins boisés, formés de rondins transversaux, espacés de la longueur du pas de l'homme, et fortement fixés par des chevilles à deux pièces parallèles. Les pentes sont réglées pour que la pesanteur des chargements fasse glisser les traîneaux; les conducteurs placés en avant, et qui marchent sur les rondins, modifient, sans faire un grand effort, soit en tirant, soit en retenant, la vitesse des traîneaux. Par ce procédé, usité en Allemagne et dans les Vosges, que l'on nomme *schlitter*, un homme de moyenne force descend ordinairement deux à trois mètres cubes de bois à la fois. Il remonte son traîneau en le portant.

Le couloir le plus remarquable par la longueur de son développement et la hardiesse de sa construction, était *le plan incliné d'Alpmach* (1). Les

(1) *Traité sur l'économie des machines*, trad. de l'anglais de Ch. Babbage, par Ev. Biot.

pins de la plus belle qualité croissaient et périssaient dans les forêts impénétrables du mont Pilat, en Suisse; il avaient attiré l'attention de plusieurs propriétaires; mais les plus habiles avaient reculé devant les difficultés que présentaient les flancs sauvages et les gorges profondes qu'il fallait franchir pour utiliser ces richesses. En 1815, M. Rapp et trois autres propriétaires plus hardis entreprirent l'exploitation de la forêt de la commune d'Alpnach. Ils commencèrent aussitôt la construction du couloir ou plan incliné, qui devait recevoir les arbres abattus et les conduire par une seule pente non interrompue et sur un développement de 12 kilomètres de longueur dans le lac de Lucerne. La rigole de ce couloir avait 2 mètres de large et 1 mètre de profondeur; le fond était formé de trois corps d'arbres juxtaposés; dans celui du milieu était une rainure dans laquelle coulait un filet d'eau amené de différents points pour entretenir l'humidité qui adoucit les frottements.

L'ensemble de ce plan incliné était soutenu sur 2000 points par des supports en bois; dans quelques-unes de ses parties il avait été attaché aux escarpements granitiques qu'il côtoyait; ailleurs, il traversait de profonds ravins sur des palées de 40 mètres de hauteur; en un seul point on avait été forcé de lui ouvrir un passage sous terre, pour régler sa pente, de façon qu'elle ne fût que de 18 à 20 degrés.

Sa direction était en partie composée de lignes droites; les coudes indispensables étaient tracés suivant des courbes très-étendues. Cent soixante ouvriers avaient été employés à sa construction, qui n'avait exigé que dix-huit mois de travail, et dans laquelle il n'était entré aucune pièce de fer. On y avait employé 25 000 arbres, et la dépense avait été d'environ 100 000 fr.

De distance en distance des ouvriers étaient répartis pour se correspondre et prévenir aux extrémités du moment du départ et de celui de l'arrivée des arbres, afin qu'on pût les faire succéder sans danger. Trois minutes seulement suffisaient à cette correspondance verbale.

Les plus grands pins, n'ayant pas moins de 32 mètres de long et 0^m,27 de diamètre au petit bout, parcouraient toute la longueur du plan incliné en deux minutes et demi.

Pour connaître la puissance d'une si grande vitesse, on avait disposé des arrêts de manière à faire sauter quelques-uns de ces pins hors de la rigole; ils entrèrent d'environ 0^m,60 en terre; l'un d'eux ayant frappé un autre arbre, celui-là fut fendu comme s'il eût été atteint par la foudre.

La conception et l'exécution de ce magnifique ouvrage, qui n'existe plus, étaient entièrement dues à M. Rapp, qui eut à combattre une foule de préjugés, à vaincre des difficultés sans nombre.

Dans les contrées du Nord, c'est en hiver que l'on fait descendre les bois des montagnes. On profite de l'abondance des neiges pour former des couloirs très-unis et fort glissants sur lesquels, suivant l'inclinaison des pentes, les bois sont ou abandonnés à leur propre pesanteur qui les entraîne, ou conduits par des hommes sur des traîneaux, en arrière desquels les pièces sont attachées les unes aux autres par des harts ou des chaînes en fer.

§ 2. *Transport par eau.*

Lorsque le pays offre des cours d'eau, on en profite pour le transport des bois, qui se fait de trois manières différentes, suivant la nature des cours d'eau : par flottage à bois perdu, par flottage en trains et par bateaux et navires.

Le flottage à bois perdu se fait lorsqu'on peut disposer de ruisseaux qui sont assez fournis d'eau; on y jette les pièces de bois isolément, et elles sont abandonnées au courant. Il est rare cependant de flotter les bois de charpente sur des ruisseaux dont le cours est tortueux, parce que leurs coudes ne permettraient pas toujours le passage des longues pièces, à moins qu'on ne redresse ces coudes en ouvrant un autre lit au cours d'eau. Quelquefois même on est forcé d'abandonner entièrement le lit du ruisseau pour faire passer ses eaux dans un canal creusé latéralement, suivant de longues directions rectilignes, et dont les coudes sont arrondis par de grandes courbes qui laissent un libre cours au flottage. Le plus ordinairement, la seule vitesse de l'eau entraîne les bois flottants, et il suffit de quelques ouvriers distribués sur les rives pour remettre dans le courant les pièces que quelques obstacles auraient arrêtées. Mais dans les rigoles qu'on ouvre en terrains marécageux, afin de rassembler des eaux pour le flottage, et dans les canaux qu'on établit latéralement aux lits naturels, et qui sont quelquefois coupés par des barrages et des écluses destinés à exhausser le niveau des eaux pour augmenter leur profondeur ou la longueur de chaque bief, et même pour former des étangs successifs, il n'y a point de courant, ou bien il est trop faible pour entraîner les bois; on réunit alors plusieurs pièces ensemble pour en former des brelles ou petits trains. Leur largeur est limitée par celle des passages. Les pièces qui les composent sont attachées ensemble au moyen de harts ou liens en

branchages flexibles et tordus passés dans des trous percés avec une tarière au bout de chacune.

On hale ces petits trains, au moyen de cordes, en marchant sur les rives, et l'on parvient ainsi à faire arriver les bois jusqu'à des cours d'eau plus considérables, ou bien on produit momentanément de rapides courants au moyen de chasses qui sont l'effet de l'écoulement de grandes masses d'eau recueillies pendant un temps plus ou moins long.

Ce moyen est pratiqué dans les Alpes. On fait descendre les corps d'arbres résineux, en les roulant le long des pentes des vallées qui bordent des étangs successifs, lorsqu'il y en a une suffisante quantité et qu'on en a formé des trains, l'eau des étangs étant prête d'ailleurs à se déverser par-dessus les digues appelées *klauses*, on ouvre à la fois toutes les écluses, le courant rapide ne tarde pas à s'établir d'un étang à l'autre, et il entraîne tous les bois jusqu'à la rivière où aboutit la vallée.

On cite le kause de Chorinsky près Ischl, dans la Haute-Autriche, formé d'un mur épais qui soutient environ 13 mètres de profondeur d'eau. L'écluse est au milieu; lorsqu'on enlève les barres qui soutiennent ses portes, elles s'ouvrent avec fracas, et le courant impétueux, qui produit un roulement semblable à celui du tonnerre, entraîne les bois qu'on a rassemblés à la surface de l'étang.

Lorsque les corps d'arbres qu'on a fait flotter, comme on vient de le dire, sont parvenus à de grandes rivières, on pourrait les laisser encore suivre le fil de l'eau, mais il en résulterait des difficultés assez grandes pour les maintenir dans le courant, d'ailleurs ils gêneraient la navigation; on préfère les réunir au moyen de harts et de chevilles, qui les fixent à des perches transversales, et l'on en forme de grands radeaux, dont la largeur composée d'un certain nombre de pièces liées à côté les unes des autres, est proportionnée à celle des passages que les trains doivent franchir, et dont la longueur est formée de plusieurs brelles partielles attachées avec des harts qui leur permettent de se plier aux inflexions du courant.

Des mariniers placés sur ces trains les conduisent en maintenant leur longueur dans le sens du fil de l'eau, et ils les dirigent avec des crocs, des rames et même de longs gouvernails. Lorsqu'un train est arrivé au port pour lequel il est destiné, on l'amarré au rivage et on le démonte en coupant les harts qui retiennent les pièces à mesure qu'on veut les mettre à terre; on les monte sur la pente du rivage en les faisant rouler au moyen de leviers, ou en les faisant tirer par des chevaux ou des bœufs attelés, par

le moyen d'un crochet à chaque pièce, comme nous l'avons indiqué en parlant de l'extraction de la forêt.

Le transport des bois de charpente par flottage présente quelques avantages lorsque les bois sont complètement dans l'eau et qu'ils n'y restent pas trop longtemps. Il y a surtout économie, et l'eau qui les pénètre traverse leurs pores, les lave et enlève une partie des liquides végétaux, ce qui diminue la tendance des bois à la pourriture par l'effet de la fermentation de la sève; mais, d'un autre côté, un séjour trop long dans l'eau et une inégale immersion altèrent le bois.

On évite, en faisant flotter le bois, de le faire descendre dans les fleuves jusqu'aux points où l'eau salée de la mer remonte par l'effet des marées, surtout pour les bois destinés aux bâtiments d'habitation, parce que, se laissant imprégner par le sel marin, ils acquièrent la propriété nuisible d'attirer toujours l'humidité, qui détermine à la longue leur pourriture.

Le transport par bateau est préférable, surtout lorsque les distances sont longues; il a d'ailleurs l'avantage de pouvoir réunir et abriter dans une même embarcation un grand nombre de pièces; on les place le plus ordinairement suivant la longueur des bateaux, les grands bois ne peuvent même se placer autrement. Quand ils sont ronds, on n'a d'autre précaution à prendre dans leur arrangement que de les engerber de façon qu'ils ne roulent point les uns sur les autres et qu'ils ne fassent point de trop grands efforts de pression sur les flancs de l'embarcation. Les vides que laissent les difformités inévitables des bois en grume suffisent pour les aérer; il faut seulement avoir le soin d'empêcher qu'ils ne touchent le fond du bateau, dans lequel les eaux de pluie ou de filtration peuvent s'amasser, et pour cela on élève le chargement sur des chantiers combinés pour répartir le poids bien également sur toutes les traverses du fond et pour garantir les bois de toute humidité.

Lorsque les bois qu'on charge dans un bateau sont équarris, comme ils ne laisseraient entre eux aucun espace pour la circulation de l'air, et qu'ils pourraient se détériorer s'ils se touchaient, surtout à cause de l'humidité, on a grand soin de les écarter un peu les uns des autres dans le sens horizontal, et de les séparer dans le sens vertical en les faisant porter sur des cales formées de lattes provenant de planches refendues exprès.

Les bois apportés par mer des régions éloignées, tels que les sapins du Nord, sont chargés dans des navires; on évite avec bien plus d'attention encore qu'ils manquent d'air et qu'ils soient en contact avec l'eau salée qui s'amasse dans la cale, malgré le soin qu'on a de faire agir les pompes.

Ordinairement les bateaux qui naviguent sur les fleuves et les rivières, ne sont pas pontés, ils ne présentent aucune difficulté pour leur chargement; mais les bâtiments destinés aux transports par mer sont pontés, et leur chargement n'est pas aussi facile, parce que, pour peu que les pièces soient un peu longues, il n'y a point de moyen de les introduire par les écoutes qui sont les ouvertures pratiquées dans le pont pour descendre dans la cale. Les bâtiments qui servent au transport des bois, ont, pour remédier à cette difficulté, des sabords à la proue et à la poupe : ces sabords sont des ouvertures carrées percées presque à fleur d'eau, elles sont garnies de volets qui les remplissent, et que l'on calfate pour que l'eau ne passe pas par leurs joints pendant la navigation. C'est par ces sabords que l'on introduit ou que l'on sort les bois, en s'aidant de cordages et de pontons pour les tenir horizontaux et pour les mouvoir.

§ 3. *Transport sur voitures.*

Les transports des pièces de bois par les routes ordinaires pour les conduire aux lieux de consommation, ou les amener des magasins aux chantiers de travail, et de ceux-ci aux édifices où ils doivent être employés, s'effectuent sur des voitures traînées par des bêtes de trait ou par des ouvriers.

Les voitures varient de forme d'une contrée à une autre, et même elles sont d'une construction différente, suivant qu'elles doivent être traînées par des bœufs, des chevaux ou des hommes. On se sert souvent des voitures que les paysans emploient à la culture de leurs terres; nous ne nous occuperons cependant que des voitures dont l'usage est le plus général dans les lieux où l'on exécute de grands travaux et qui sont construites exprès pour le transport des bois. Ce que nous dirons à leur sujet peut s'appliquer aisément à toute autre espèce de voiture.

Nous n'entrerons point, au surplus, dans de minutieux détails sur la construction des voitures, parce qu'ils sont aujourd'hui du ressort du charron; ni dans tous ceux des chargements et des attelages, parce qu'ils regardent plus particulièrement les charretiers et les voituriers qui sont aidés dans les grandes opérations de transport par des ouvriers chargeurs. Nous nous bornerons à ce qui nous paraît utile qu'un charpentier connaisse pour se faire comprendre des voituriers et surveiller le chargement de ses bois.

La fig. 22, pl. II, représente deux projections d'une charrette, l'une verticale et l'autre horizontale. Cette charrette est composée de deux limons

horizontaux de 7 à 8 mètres de longueur, réunis par 7 épars aussi horizontaux qui s'y trouvent assemblés à tenons et mortaises, et qui portent les bûrettes ou planches composant le fond de la charrette, dont la longueur est égale à peu près à la moitié de celle des limons sur environ 1^m,25 de largeur. Les deux extrémités antérieures des limons reçoivent entre elles le cheval appelé à cause de sa position *limonier*; il est attelé aux limons par les chaînes ou attelles du collier, en même temps qu'il les soutient dans la position horizontale, au moyen de la large pièce de cuir appelée dossière et de la sous-ventrière.

Deux ranchets horizontaux sont fixés par des boulons sur les limons aux deux extrémités du fond de la charrette; ils retiennent les bûrettes et reçoivent dans les mortaises percées à jour à chacun de leurs bouts, les tenons des ranchets verticaux qui soutiennent les ridelles ou côtés de la voiture. Ces ridelles sont composées de chenaux horizontaux traversés d'un certain nombre de roulons assez serrés pour retenir les menus objets qui peuvent être chargés dans la charrette.

Tout ce bâtis est porté sur un essieu placé horizontalement et perpendiculairement aux limons, qui occupe le milieu de la longueur du fond de la charrette, afin qu'elle se trouve à peu près en équilibre.

Cette charrette est représentée sur la figure, attelée d'un seul cheval; mais on conçoit que le nombre des chevaux nécessaires pour la traîner dépend de sa charge. Lorsqu'il y a plusieurs chevaux, ils sont placés l'un devant l'autre et attelés à des traits communs qui sont attachés aux bouts des limons.

Les bouts des fusées de l'essieu sont portés dans les moyeux des roues; des rondelles et des eses qui traversent les extrémités des fusées retiennent les roues, afin que pendant le transport elles ne s'écartent point et n'échappent point de l'essieu.

Tout chargement placé sur une voiture à deux roues doit y être en équilibre sur l'essieu. S'il était trop en avant, il pèserait trop sur le dos du limonier; s'il était trop en arrière, la sous-ventrière exercerait sur le ventre du cheval une pression qui le gênerait et lui ôterait la faculté de concourir pour sa part à l'action de traîner la voiture.

Une charrette de forte dimension, comme celle que représente la figure, dont l'essieu a 7 à 8 centimètres de grosseur, pourrait être chargée de 2000 à 2500 kilogrammes, poids qui peut répondre à environ 3 mètres cubes de bois de chêne, ou à environ 5 mètres cubes de bois de sapin.

Mais il est rare que les charrettes soient aussi chargées, à moins qu'on n'ait à transporter un grand nombre de pièces dont la longueur n'excéderait pas celle du corps de la charrette, tels que seraient des soliveaux, des

madriers ou des planches, que l'on pose tout simplement sur le fond, en les arrangeant par lits, dans lesquels ils sont placés jointifs, et qui s'élevaient aussi haut que les ridelles.

On ne peut pas placer, en bois plus longs que le corps de la charrette, un chargement aussi considérable, parce qu'il ne faut pas qu'il touche le cheval limonier; et s'il dépassait trop en arrière de la charrette, il n'y serait pas en équilibre. On est obligé de disposer les bois de deux manières. Lorsqu'ils n'ont pas une trop grande longueur, on les fait passer au-dessus de la croupe du limonier, en les élevant sur une barre passée dans les ridelles, comme on voit qu'ils sont placés dans la figure 22. Si le chargement était considérable, les pièces s'élèveraient trop, la traverse qui les exhausse et le devant des ridelles ainsi que le ranchet du derrière auraient un trop grand poids à supporter. On est donc forcé de réduire de beaucoup le volume du chargement.

Ce mode de chargement n'est pas toujours praticable. Lorsque des pièces très-longues, quoique chargées en équilibre sur l'essieu, dépassent trop le ranchet du derrière de la charrette, elles peuvent trainer sur le sol de la route et occasionner des secousses ou un frottement nuisible au mouvement de la voiture, et se détériorer, alors on doit les charger comme on l'a indiqué dans les deux projections de la fig. 23. On enlève les ridelles du corps de la charrette, et les pièces sont posées horizontalement sur le fond, mais en diagonale, n'étant arrêtées sur les côtés que par les ranchets verticaux auxquels on peut au besoin les lier avec des cordages. De cette manière, l'extrémité antérieure du chargement passe à côté de la croupe du cheval limonier et ne gêne point ses mouvements.

On voit que, quoique les charrettes de la forme représentée dans les figures 22 et 23 puissent supporter de très-grands poids, on ne peut pas toujours s'en servir lorsqu'on a des transports considérables de grands bois à effectuer. On fait alors usage d'une autre voiture appelée *fardeier*, nom qui annonce qu'elle est destinée au transport des grands *fardeaux*. Les pièces de bois se placent au-dessous de l'essieu et des limons, comme on le voit par la fig. 24.

Le *fardeier* est composé de deux limons horizontaux réunis par des épars aussi horizontaux, assemblés à tenons. L'essieu est engagé au-dessous des limons dans des chantignolles, qui sont des bouts de bois tenus aux limons par des boulons et que l'on peut changer de place suivant la longueur des pièces qu'on veut transporter, afin de disposer le *fardeier* de telle sorte que le chargement soit en équilibre et que le brancard le dépasse assez pour que les pieds de derrière du cheval limonier ne le rencontrent point.

Si les bois avaient une longueur double de celle indiquée dans la figure, on placerait les chantignolles et par conséquent l'essieu et les roues vers le point *q*.

Pour opérer le chargement d'un fardier, on dispose les pièces qui doivent composer ce chargement sur deux chantiers *a a*, les unes à côté des autres, occupant une largeur à peu près égale à celle de l'écartement des limons; on forme ainsi autant de lits qu'il peut en tenir pour que le chargement, lorsqu'il est en place, remplisse le dessous du fardier en laissant cependant assez d'espace libre en dessous pour que les bois ne rencontrent point le sol lorsque les roues passent dans quelque ornière ou que quelque obstacle accidentel se trouve sur la route. On amène le fardier au-dessus des pièces qui se trouvent alors entre les deux roues, parallèlement aux limons, et l'on fait correspondre l'essieu à peu près au milieu de leur longueur. Dans cette position, on cale les roues avec des pierres *b, b*, ou des coins de bois, de façon qu'elles ne puissent changer de place. Puis on abaisse les bouts antérieurs des limons soit au tasseau, suivant le tasseau *c* de devant pose sur les pièces. On lie alors fortement avec de grosses cordes *r* toutes les pièces, soit au limon, soit au tasseau, suivant la largeur qu'elles occupent; on passe ensuite une chaîne de fer *d*, ou à défaut un fort cordage, sous le chargement en faisant revenir les bouts réunis au-dessus du rouleau *e* ou treuil posé au-dessus des limons. On introduit un grand levier presque verticalement entre le lien et le treuil, de façon qu'en l'abattant dans la position *ff*, on soulève le chargement. Cette opération se fait au moyen d'un cordage *m* attaché au bout du levier *f* que l'on fait passer au-dessous d'un épars ou de l'un des limons pour le faire revenir sur le bout du levier. On fait effort sur ce cordage comme sur celui d'un palan (1) lorsque le chargement est parvenu à toucher l'essieu dans la position *g h*, on fixe le bout du cordage *m*; et pour prévenir tout accident pendant le transport, on lie le chargement au fardier par plusieurs tours d'un fort cordage *o*, que l'on peut même serrer au moyen d'un garrot.

Lorsque le chargement est bien fait, il est à peu près en équilibre sous l'essieu; il faut cependant qu'il y ait un léger excédant du poids du côté du cheval. La figure représente le fardier dans la position qu'il aurait si l'on y avait attelé des chevaux dont le nombre dépend de la force du chargement. Dès que le fardier est attelé, on enlève les chantiers *a a* sur les-

(1) Voyez la description du palan, au chapitre des agrès servant au levage.

quels reposait le chargement, et les cales *b b* des roues, pour que les chevaux puissent agir.

On fait encore usage pour le transport des bois d'une autre espèce de *fardier*, nommé *triqueballe* (1), lorsqu'on a des pièces extrêmement grosses et pesantes à transporter. La fig. 25 représente la projection verticale d'un triqueballe *a* avec son avant-train *b*, chargé d'une grosse poutre. La fig. 26 est séparément une projection horizontale du même triqueballe, dont les roues sont ôtées. Le triqueballe est composé d'un essieu *ff* qui est surmonté d'une sellette en bois *g* très-élevée. Entre l'essieu et cette sellette, perpendiculairement à leur longueur, se trouve assemblée une longue flèche aussi en bois *d* consolidée par deux empenons *e*. Des fusées de l'essieu portent dans les moyeux des deux roues; le diamètre de ces roues est ordinairement très-grand, afin que l'essieu soit plus élevé au-dessus du sol.

L'avant-train *b* est composé d'un essieu, de deux roues, de deux limons *g*. L'essieu est surmonté d'une sellette *s*, au-dessus de laquelle s'élève la cheville-ouvrière *t*. La sellette est assez haute pour que la flèche *d* du triqueballe, dont elle supporte le bout, soit horizontale.

Pour charger un triqueballe, on pose d'abord la pièce de bois qu'il s'agit de transporter sur deux chantiers *p p*, comme elle est représentée ponctuée en *m n*, l'on amène le triqueballe de manière que sa flèche soit au-dessus de la pièce, et que l'essieu réponde à peu près au milieu de sa longueur et lui soit perpendiculaire.

On élève alors la flèche verticalement dans la position *g y*, puis on passe une chaîne *r* ou un fort cordage sous la pièce, on fait revenir les deux bouts en dessus de la sellette, on les réunit pour les rattacher à la flèche après les avoir passés dans les espaces qui la séparent des empenons. Quand le lien de chaîne ou de cordage est bien serré et bien assuré, on abat la flèche en faisant effort sur un cordage dans la direction *y z*; on l'abaisse jusqu'à ce qu'elle touche l'extrémité *m* de la pièce, qui se trouve ainsi enlevée par son autre extrémité *n*. On attache alors la flèche à la pièce par une forte ligature *v*, puis on relève la flèche pour passer l'anneau qui la termine dans la cheville-ouvrière *t* verticale qui surmonte la sellette de l'avant-train qu'on a amené.

Pour atteler le triqueballe, on place un cheval limonier dans le brancard, et en avant autant de chevaux que nécessite le chargement.

(1) Nom formé des mots allemands *tragen*, porter, et *ballen*, fardeau.

On voit qu'il est nécessaire que la charge du triqueballe pèse un peu plus en avant qu'en arrière, afin que la flèche porte bien sur l'avant-train auquel on peut la retenir d'ailleurs par une chaînette, pour éviter que les cahots la fassent sortir.

Quelquefois on charge le triqueballe de plusieurs pièces, soit en bois équarris, soit en bois en grume, le procédé de chargement est le même ; mais on ne peut employer ce genre de fardier que pour des bois dont la longueur ne dépasse pas le double de celle de la flèche. Lorsqu'on veut transporter des bois plus longs, on se sert de deux triqueballes moins fortes que celui dont nous venons de parler, qu'on dispose comme on les voit dans la projection verticale fig. 27, et que l'on manœuvre absolument de la même manière pour soulever le chargement qui se trouve également placé au-dessous des essieux. Lorsqu'on emploie ainsi deux triqueballes, on ne fait point usage d'avant-train, qui devient inutile, et les chevaux sont attelés immédiatement à la flèche du triqueballe de devant au moyen de palonniers.

Le transport des bois extrêmement longs, tels que sont les sapins dans l'état où on les extrait des forêts, ne s'effectue point au moyen de triqueballes qu'il faudrait construire exprès, et qui ne pourraient servir uniquement qu'à cet usage. Les paysans employés aux transports des sapins préfèrent les chariots dont ils se servent habituellement dans leurs travaux agricoles. Ils séparent les deux trains, dont les roues sont égales, et les placent sous les extrémités des arbres, comme nous l'avons représenté, fig. 28, par une projection verticale.

Ils réunissent ordinairement trois sapins pour en former un chargement, à moins qu'ils ne soient très-gros et très-longs, auquel cas ils n'en transportent qu'un à la fois.

La fig. 29 est une projection verticale sur un plan perpendiculaire à celui de la précédente projection ; elle fait voir l'arrangement des arbres dans l'hypothèse où l'on en a placé trois sur les trains. Ils sont attachés par des cordages ou des chaînes sur les sellettes ; ce mode de transport permet de passer avec des arbres extrêmement longs dans des chemins étroits et souvent tortueux, sans aucune difficulté. En procédant comme nous l'avons représenté sur une petite échelle en projection horizontale, fig. 30, un charretier conduit les chevaux attelés au train de devant m et les maintient sur la route ; d'autres, au moyen d'une double corde $p q$ tournée au besoin autour des sapins, dirigent la flèche du train qui est derrière n , de manière à maintenir l'essieu perpendiculaire à la courbure de la route, pour que les

roues demeurent constamment dans la voie qu'elles doivent suivre et qui est marquée par les ornières ou les simples impressions que les roues de devant ont faites sur le sol.

On se sert, pour élever les arbres et les placer sur les trains, de deux vis en bois, fig. 31, égales et surmontées chacune d'une tête carrée percée de mortaises pour passer des leviers. Les écrous de ces deux vis sont taraudés dans une même pièce de bois *e f*; les deux bouts de ces deux vis portent sur une semelle *c d* posée sur le sol; on élève l'un des bouts du sapin *m n* qu'il s'agit de charger, en embarrant deux leviers en dessous; lorsqu'il est assez haut, on passe au-dessous et perpendiculairement les deux pièces *e f*, *c d* qu'on a rapprochées l'une de l'autre. Dès que l'arbre pose sur la pièce *e f*, on agit sur les vis qui sont verticales au moyen de leviers passés dans les mortaises de leurs têtes pour les faire tourner d'un pas égal, afin que la pièce *e f* monte horizontalement, et soulève le bout du sapin assez haut pour qu'on puisse amener au-dessous le train sur lequel il doit être chargé; on soulève de la même manière l'autre bout du sapin pour le placer sur un second train.

On se sert en Allemagne d'une charrette dont le maniement, le transport et les réparations sont plus faciles. Cette charrette est projetée verticalement, fig. 32. On a représenté des charretiers occupés à lever le bout d'un sapin pour le charger sur leurs trains.

Les pièces de cette chevette sont représentées séparément et marquées des mêmes lettres, près de cette figure.

Le corps de la chevette est une pièce de bois de chêne *a*, traversée par une longue mortaise dont les joues sont percées de deux rangs de trous qui se correspondent pour recevoir deux chevilles de fer *c*. Ce corps de chevette est représenté séparément par deux projections. Lorsque la chevette est équipée, elle pose par un de ses bouts sur le sol, l'autre bout est soutenu par un pied *b*, reçu par le haut dans une échancrure qui termine la longue mortaise du corps de la chevette.

La chevette et son pied sont maintenus sans effort dans une position verticale par l'un des charretiers chargé en même temps du soin de changer à propos de place les chevilles *c* pendant la manœuvre.

On passe une chaîne de fer *e* en dessous du bout du sapin *f* qu'il s'agit de charger, l'on réunit les deux bouts de cette chaîne en dessus au moyen du lacet qui termine l'un d'eux, et l'on accroche le chaînon supérieur pour tout le temps de l'opération dans le crochet dont est garnie la tête du levier *d*, qu'on a préalablement introduit entre les joues de la chevette.

On place alors la première cheville de fer dans un trou assez élevé du rang le plus près du sapin, et l'on pose le cran du bout du levier sur cette cheville. Les hommes chargés de la manœuvre du levier soulèvent sa queue et élèvent le bout du sapin; on place alors la seconde cheville dans un trou de l'autre rang au-dessous du levier, que l'on abaisse un peu pour que son second cran porte sur la deuxième cheville. Les hommes, en pesant sur la queue du levier, font lever sa tête, et avec son crochet le bout du sapin est encore soulevé; l'on remonte alors la première cheville d'un trou, pour qu'elle serve de nouveau de point d'appui à la tête du levier, et ainsi de suite en faisant osciller le levier et en exhaussant successivement les chevilles qui lui servent de point d'appui alternativement en avant et en arrière de son crochet de fer; on parvient à élever très-prompement le bout du sapin à une hauteur suffisante pour le charger sur l'un des trains qu'on amène au-dessous. C'est une application du levier de Lagaroust.

Les chemins de fer, en se multipliant, donneront un moyen de transporter toute espèce de matériaux en moins de temps que sur les routes et par eau. Les marchands de bois sans doute profiteront de tous ceux qu'ils trouveront établis. Mais jusqu'ici les moyens ordinaires ont suffi aux besoins de la consommation, et le commerce des bois n'aurait rien à gagner du seul avantage d'une extrême rapidité, s'il n'y trouvait pas une grande économie dans les frais de transport (1).

§ 4. *Transport dans les chantiers de travail.*

Lorsqu'une pièce est d'un petit volume et d'un médiocre poids, elle est portée sur l'épaule par un seul homme; lorsque le volume et le poids augmentent, s'ils ne dépassent point la charge de deux hommes, chaque bout est porté par un charpentier sur l'une de ses épaules; quelquefois les compagnons portent cette pièce tous deux du même côté, ils sont alors dans la nécessité de pencher leur corps du même côté, et de maintenir la pièce chacun sur son épaule avec la main du même côté. En portant au contraire la pièce l'un sur l'épaule droite, l'autre sur l'épaule gauche, il en résulte qu'elle est comme en équilibre, que les deux compagnons peuvent se tenir droits et que pour peu qu'ils aient d'habitude, ils peuvent la transporter ainsi sans

(1) La prédiction d'Emy s'est réalisée, et aujourd'hui les chemins de fer transportent très-facilement les bois les plus longs en les portant par leurs extrémités sur deux trucks plats à 4 roues. Cette disposition permet aux longues pièces de se placer à peu près tangentiellement aux courbes de la voie ferrée et les empêche de *flamber* ou de fléchir, malgré leurs grandes dimensions.

y porter les mains, sinon lorsqu'il faut la descendre pour la poser à terre. Dans l'un et l'autre cas ils doivent marcher du même pas.

Lorsqu'une pièce est d'un grand poids, on peut encore la porter à l'épaule, en réunissant le nombre de compagnons qui est nécessaire pour que chacun ne soit chargé que du poids qu'il peut porter sans faire un effort extraordinaire. Dans ce cas, les hommes se répartissent le long de la pièce, en se plaçant de façon que ceux qui portent plus volontiers sur l'épaule droite soient d'un côté, et ceux qui préfèrent porter de l'épaule gauche soient de l'autre côté; il faut au surplus que les hommes soient répartis en nombres égaux des deux côtés et alternativement un à droite et un à gauche le long de la pièce. Quand le trajet est un peu plus long, il est bon de former deux brigades d'ouvriers qui puissent se relever alternativement, opération qui se fait sans mettre la pièce à terre.

Quand on fait ainsi porter des bois à l'épaule, il faut, autant que possible, que les hommes soient de même taille, ou plutôt de même hauteur d'épaule, afin qu'ils fassent tous le même effort. Lorsqu'on emploie un assez grand nombre d'hommes, et qu'ils ne sont point de même hauteur d'épaule, on les range par rang de taille le long de la pièce, de façon que leurs épaules l'atteignent tous également.

Pour charger une pièce à l'épaule, on commence par l'enlever d'un bout, et tous les hommes réunissent d'abord leurs efforts à ce bout-là; lorsqu'il est soulevé, un petit nombre d'entre eux suffit pour le soutenir à la hauteur des épaules, tandis que le reste va soulever l'autre bout à la même hauteur. C'est alors qu'ils se répartissent le long de la pièce, chacun allant se porter à la place que sa taille lui assigne.

Pendant le trajet, tous les hommes doivent marcher du même pas, afin que les oscillations de la pièce ne les fatiguent point.

Pour mettre la pièce à terre, on agit comme pour la charger, mais en procédant dans un sens inverse.

Quelques compagnons, pour mettre à terre une pièce chargée à l'épaule, passent tous du même côté, et, par un mouvement qu'ils font avec ensemble, ils la jettent en se retirant vivement. Cette manœuvre doit être défendue, parce qu'elle peut occasionner des accidents : lorsque la pièce est d'un gros volume, on risque de blesser quelques hommes par l'effet de la difficulté de jeter la pièce avec ensemble et de se retirer assez promptement. Cette méthode a d'ailleurs l'inconvénient de pouvoir occasionner quelques ruptures des fibres de la pièce et de la détériorer, surtout si elle a été travaillée et qu'elle porte plusieurs assemblages.

On peut encore porter des pièces très-pesantes en passant des leviers ou barres en dessous; les bouts de ces barres sont saisis à la main par des hommes placés des deux côtés qui soulèvent ainsi les pièces et les transportent en marchant du même pas.

On peut augmenter la quantité d'hommes, et par conséquent la force, pour enlever et transporter une grosse pièce; on en met plusieurs à chaque bout des leviers; on peut même accroître d'une manière presque indéfinie leur nombre, en passant des leviers sous les premiers croisés à angles droits, et d'autres leviers sous ceux-ci. Mais cette combinaison de leviers, qui se trouve indiquée dans d'anciens auteurs, n'est pas en usage, parce qu'on a aujourd'hui des moyens de chargement et de transport beaucoup plus simples.

On n'emploie le transport à l'épaule que lorsqu'il peut se faire avec peu de monde, car s'il fallait le pratiquer souvent pour de très-lourdes pièces, il deviendrait fort coûteux. Il conviendrait alors de lui substituer l'usage des fardiers et des triqueballes.

Lorsqu'on doit transporter quelques grosses pièces à une petite distance et qu'on a peu de monde à y employer, on se sert des moyens que nous allons indiquer.

Presque tous les chantiers sont pourvus d'un petit *triqueballe*, désigné sous le nom de *diable*, construit sur les mêmes principes que le grand triqueballe de la fig. 25, et avec lequel on enlève de la même manière les pièces de bois trop pesantes pour être portées à l'épaule. Le diable ne nécessite pas un avant-train; une barre qui traverse horizontalement le bout de la flèche, suffit pour que deux hommes, en y appliquant leur effort, le traient avec la pièce dont il est chargé. Lorsque le trajet est un peu long, on augmente le nombre d'hommes ou l'on ajoute à leur force celle d'un cheval attelé à un palonnier attaché à l'anneau qui termine la flèche.

La figure 33, pl. III, représente une pièce de bois transportée par deux hommes au moyen du diable.

Lorsque la longueur d'une pièce et son poids ne permettent point de faire usage de ce petit triqueballe, on la transporte sur des rouleaux.

La pièce étant établie sur des chantiers, on la soulève d'un bout en engageant par-dessous deux leviers croisés; on retire le chantier répondant à ce bout, et l'on met à sa place un rouleau; on en fait autant à l'autre extrémité de la pièce, qui se trouve alors posée sur deux rouleaux. Elle est

représentée en $a b$ sur la projection verticale et en $a' b'$ sur la projection horizontale, fig. 34, pl. III; posée ainsi sur deux rouleaux m, n , en la poussant avec les mains dans la direction de sa longueur, par exemple, de a vers b , les rouleaux roulent sur le sol, et elle s'avance sur eux avec une vitesse double de la leur. Avant que le bout a de la pièce ait atteint le premier rouleau m , on en place un troisième à terre en o , parallèlement aux deux autres et du même diamètre. La pièce s'engage bientôt au-dessus de ce rouleau et abandonne le premier m , qui doit être reporté en avant pour recevoir de nouveau la pièce lorsqu'elle abandonnera le rouleau n . On voit qu'en présentant toujours un rouleau à la pièce qui s'avance, on pourra lui faire parcourir telle longueur de chemin qu'on voudra, et qu'il suffira pour cela de trois rouleaux; deux de ces rouleaux étant constamment sous la pièce pour la porter et servir à sa translation, tandis que le troisième se présente pour la recevoir lorsqu'elle abandonne celui qui a parcouru toute sa longueur. La pièce étant ainsi parvenue dans la position $c d, c' d'$, s'il s'agit de la faire tourner pour changer la direction du chemin qu'on veut lui faire suivre, il suffit de changer la position des rouleaux, et de les placer suivant une obliquité convenable. Ainsi la pièce étant dans la position $c' d'$, pour la faire tourner sur la droite, on donuera au rouleau du devant la position suivant laquelle il est projeté en q . En inclinant toujours de la même manière, les rouleaux $r, s, (r', s')$, en projection horizontale) qu'on présente à la pièce à mesure qu'elle s'avance, on lui fait suivre une route courbe $x y z$.

La pièce de bois est représentée horizontalement sur cette route en cf portée sur des rouleaux $r's'$. On augmente ou on diminue la courbure de la route que doit suivre la pièce, on la fait même changer de sens en changeant l'inclinaison des rouleaux à mesure qu'on les pose. On peut même changer l'inclinaison de ceux déjà placés sous la pièce, mais alors il faut les frapper de côté sur l'une de leurs extrémités avec une masse en bois. Les charpentiers acquièrent promptement l'habitude de conduire ainsi une pièce de bois sur des rouleaux, et de juger l'inclinaison qu'il faut leur donner pour lui faire suivre la route qui leur convient, et l'amener juste à la place qu'elle doit occuper. D'ailleurs on la porte à droite ou à gauche, suivant le besoin, en la faisant glisser parallèlement à elle-même sur les rouleaux ou en lui donnant quartier. On peut s'aider de leviers pour pousser la pièce; pour cela on engage les uns sous le bout postérieur, et en les levant on force la pièce à avancer, les autres sont engagés obliquement sur les côtés et l'on fait marcher la pièce en donnant aux queues des leviers un

mouvement de l'arrière à l'avant, ce que l'on appelle *faire nager*. Lorsque les pièces qu'on veut transporter ainsi sont travaillées à vive-arêtes, on doit se garder d'y appliquer les leviers, qui les détérioreraient. Il faut les encaêdre d'un cordage suivant leur longueur, on y attache des traits de cordes dont on se sert pour les tirer sur les rouleaux, on, mieux encore, on n'y applique que les mains. On peut aussi se servir de rouleaux sans fin, qui sont propres surtout pour le transport des pièces extrêmement pesantes.

La fig. 33, pl. III, représente, dans deux projections verticales, une pièce de bois *a*, portée sur deux rouleaux sans fin. On la place sur ces rouleaux au moyen de deux crics ou au moyen de leviers et de chantiers exhaussés en chaises. Des rouleaux sans fin sont composés chacun de deux fortes flasques *b, b'*, maintenues parallèles au moyen de deux entretoises aussi parallèles *c, c'*, qui leur sont assemblées à entailles et boulonnées. Ces deux flasques entrent de toute leur épaisseur dans les deux gorges creusées autour du rouleau *a*, qui doit les supporter, et dont les extrémités frettées en fer sont percées de mortaises pour embarrer les leviers au moyen desquels on le fait tourner. On agit sur les deux rouleaux en même temps et dans le même sens, et l'on fait ainsi avancer la pièce du côté où l'on veut la conduire. La route qu'elle suit est droite; on parvient cependant, quoique avec quelques difficultés, à lui en faire suivre une courbe, en changeant la position des rouleaux, ce qui ne peut se faire qu'à coups de masse. Pour changer de direction, il est plus facile de placer au-dessous du centre de gravité de la pièce un chantier croisé sur deux autres, un peu plus élevé que les rouleaux et posé obliquement aux deux routes; il suffit, pour soulever la pièce, de passer des leviers entre elles et les entretoises d'un des rouleaux. Lorsqu'elle pose sur le chantier, on transporte les rouleaux sans fin sur la route qu'on veut suivre, et comme la pièce se trouve en équilibre sur le chantier, il est aisé de la faire tourner comme une aiguille sur son centre et de l'amener au-dessus des rouleaux. A l'aide de leviers on la soulève encore, on ôte le chantier et on la repose sur les rouleaux sans fin pour suivre sa nouvelle direction.

On transporte aussi les pièces de bois parallèlement à elles-mêmes, c'est-à-dire dans une direction perpendiculaire à leur longueur, en les faisant glisser sur de longs chantiers parallèles à cette direction, ou en leur donnant successivement quartier autant de fois qu'il est nécessaire pour les faire arriver à leur destination.

Donner quartier à une pièce de bois, c'est la faire tourner sur l'une de ses arêtes pour la renverser sur la face contiguë à cette arête. Lorsqu'on fait pour ainsi dire rouler de cette sorte une pièce de bois travaillée, il faut avoir soin de garnir les chantiers sur lesquels les arêtes portent, de paillassons, de vieilles toiles, ou de très-vieux cordages, pour que les arêtes ne soient point gâtées.

CHAPITRE V

DE LA COURBURE DES BOIS.

Plusieurs travaux exigent des bois courbes pour satisfaire aux formes des édifices, ou concourir à leur décoration et à leur solidité. On rencontre, dans l'exploitation des forêts, des arbres dont la courbure est une difformité qu'on utilise, et que l'on recherche même quelquefois pour différents genres de constructions. On a soin, en équarrissant ces arbres, de conserver leur courbure, comme nous l'avons déjà indiqué.

Les arbres courbes sont ordinairement réservés pour la charpenterie navale, qui les emploie dans la composition des couples et varangues, et qui tire même parti des bifurcations des branches; les arbres courbes ne seraient pas moins utiles dans la charpenterie civile, souvent forcée de les suppléer en taillant des pièces droites suivant les cintres qui lui sont nécessaires. Il en résulte une perte de bois que nous avons signalée, et la solidité des pièces ainsi cintrées à la hache est altérée par l'effet de l'interruption de la majeure partie des fibres du bois; ces pièces ne peuvent avoir autant de force que celles de même forme et de même équarrissage, dans lesquelles la totalité des fibres sont continues et parallèles à la courbure. Le vice des pièces cintrées, taillées dans des bois droits, est le même que celui des pièces droites débitées dans des bois courbes.

Pour remédier aux inconvénients des pièces de bois cintrées à la hache ou à la scie et tenir lieu de celles qui sont cintrées naturellement, on a recours à deux manières de courber artificiellement les bois, l'une en opérant sur des arbres vivants, l'autre en opérant sur des bois abattus, équarris ou débités.

§ 1. Courbure des arbres sur pied.

Pour courber des arbres sur pied, on ne peut agir que sur de jeunes tiges minces, tendres et flexibles, qui se prêtent à tous les degrés de courbure qu'on veut leur donner. On assujettit chaque sujet par des liens contre des pieux verticaux et des traverses horizontales qu'on y a fixées. On

change les liens à mesure que l'arbre croît et qu'il augmente en grosseur et l'on dirige et maintient sa courbure suivant la force que les années lui font prendre jusqu'à ce qu'il soit parvenu à un âge qui ne permette plus son redressement.

C'est ainsi qu'en Russie de jeunes arbres sur pied sont courbés en cercle pour servir, quand ils ont acquis une grosseur suffisante, à faire des jantes de roues d'une seule pièce et qui n'ont qu'un seul joint.

Les mêmes moyens peuvent être employés pour redresser de jeunes arbres.

On reproche à la courbure artificielle sur pied, de retarder la croissance des arbres et d'altérer l'homogénéité du bois. On n'aperçoit cependant aucune différence nuisible dans la qualité des bois qu'on a courbés et ceux qui sont venus naturellement courbes; le cœur n'occupe pas plus dans ceux-ci le centre de la section perpendiculaire aux fibres, et le contour n'est pas plus circulaire dans les uns que dans les autres. Ces irrégularités se rencontrent aussi dans les bois les plus droits, et, fussent-elles le résultat de la courbure sur pied, elles ne seraient pas à comparer aux inconvénients de l'interruption des fibres des pièces courbes débitées dans des bois droits.

Le plus grand inconvénient de la courbure des arbres sur pied, c'est d'être d'une pratique embarrassante dans les forêts, et d'exiger un laps de temps fort long pour que les arbres traités par cette méthode parviennent à des dimensions propres aux travaux de la charpenterie. Elle ne peut pas servir pour préparer des bois de courbures données pour des constructions dont l'exécution est prochaine.

Elle est plus utile au service de la charpenterie navale qu'à celui de la charpenterie civile, puisque tous les gros bois, quelle que soit leur forme, conviennent à la marine, et si les accidents naturels ne fournissaient pas assez de bois cintrés, on pourrait diriger des arbres sur pied sous toutes les courbures et les laisser croître avec la certitude qu'ils trouveraient un jour leur emploi dans la construction des vaisseaux, lorsqu'ils auraient de fortes dimensions. Néanmoins cette méthode ne suffirait pas à la charpenterie navale, qui a aussi, pour former le revêtement extérieur des navires, un besoin continuel de bois courbes très-longs et de fil qu'on ne peut pas débiter au moyen du sciage dans les arbres, dont les parties naturellement courbes n'ont point un assez grand développement. La marine a donc dû recourir à l'art de courber les bois débités, qui satisfait à peu près à toutes les exigences des constructions ordinaires, et qui a été appliqué avec suc-

cés à la courbure des bois de charonnage et des bois employés dans la charpenterie civile.

§ 2. *Amollissement des bois débités.*

L'art de courber les bois est fondé sur la propriété que la chaleur et l'eau ont de pénétrer la substance ligneuse, de la rendre souple et de l'amollir, même suffisamment pour qu'elle puisse recevoir différentes formes qu'elle conserve en se refroidissant et en séchant.

Les procédés du travail du bois au moyen de la chaleur et de l'humidité agissant simultanément sont extrêmement anciens. On les a d'abord appliqués à la confection de divers petits objets, notamment à celle des manches de couteaux dits *jambettes* ou plutôt *eustaches* (1). Ces manches sont faits avec du bois de hêtre vert, moulé entre deux plaques d'acier convenablement creusées, fortement chauffées et soumises à une grande pression. Ce moulage à chaud change tellement la texture du bois en le resserrant et en contourant ses fibres aux formes du moule, qu'il serait impossible de reconnaître son espèce si l'on n'avait pas vu préalablement les chevilles brutes qui servent à former les manches. L'espèce de fusion pâteuse produite par cette opération est telle, que la matière du bois s'étend en balèvres de 0^m,03 de largeur dans les joints des moules. Le moulage, au surplus, n'a de succès qu'autant que le hêtre est fraîchement coupé, parce que l'humidité de la sève se réduit en vapeur qui amollit le bois. Les manches fabriqués par ce procédé ont acquis, après leur refroidissement, une belle couleur brune et une extrême dureté.

On forme avec diverses petites pièces de bois des assemblages qui paraissent incompréhensibles à ceux qui ignorent le pouvoir de la chaleur et de l'eau. Nous avons représenté, pl. XXIII, deux assemblages de cette sorte. L'un d'eux, fig. 36 et 37, consiste en une cheville carrée *b* à deux têtes égales et de bois de fil, passée dans la mortaise à jour *e* d'un plateau *a*, dont elle ne peut sortir en aucun sens, ses deux têtes étant plus grosses d'un tiers que l'ouverture de la mortaise. Ce résultat est obtenu en faisant tremper le plateau *a*, dans lequel la mortaise *e* est percée et la cheville à deux têtes *b*, dans de l'eau bouillante pendant assez de temps pour que le bois en soit

(1) Ce nom est probablement celui de l'inventeur de ces couteaux, qui n'avaient qu'un seul clou pour tenir la lame.

complètement pénétré; on comprime alors l'une des deux têtes de la cheville entre les mâchoires d'un étau, et lorsqu'elle est ainsi momentanément réduite d'épaisseur, on la fait passer à petits coups de maillet dans la mortaise *e*, qui prête et s'élargit aussi momentanément. En refroidissant et en se séchant, le bois reprend ses dimensions naturelles.

La fig. 37, pl. XXIII, représente le plateau *a* projeté à part sur son plat; le fil du bois est parallèle à l'un des côtés du carré.

La fig. 38 est une coupe de la cheville prise isolément et perpendiculairement à ses fibres, suivant la ligne *m n*, tracée sur la fig. 36.

Le second assemblage représenté par deux projections, fig. 39, est formé de six petites pièces de bois, toutes égales et de même forme, qui se croisent par paires à angle droit; les deux pièces de chaque paire sont parallèles, celles d'une paire sont retenues dans les entailles des deux pièces d'une autre paire aussi retenues dans les entailles des deux pièces de la troisième paire, qui sont également retenues dans les entailles des deux pièces de la première paire, de telle sorte qu'on ne pourrait comprendre de quelle manière on a pu parvenir à former cet assemblage si l'on ignorait la souplesse que la chaleur et l'humidité donnent au bois.

Les six pièces étant taillées comme celle représentée isolément, fig. 40 et 41, et ajustées paire à paire, il suffit de les faire tremper dans l'eau bouillante quelque temps pour que les joues des entailles puissent être comprimées momentanément et permettre la réunion des six pièces comme la fig. 39 les représente. En refroidissant et en séchant, le bois reprend sa forme primitive, et les pièces ne peuvent plus être désunies.

On applique ce procédé à des pièces beaucoup plus longues qui se croisent de même par paires, et sur lesquelles on multiplie les points d'assemblage pour en former différents petits objets de coloration et d'amusement qui ont été jadis fort en vogue.

Nous aurons occasion de revenir sur la disposition des bois dans cet assemblage, lorsque nous parlerons des constructions en planches (1).

(1) L'action de la chaleur et de l'humidité donne un moyen fort simple de faire des inscriptions ou des dessins en relief sur du bois, particulièrement sur du noyer : on refoule le bois avec des poinçons, puis on enlève au rabot tout le bois qui n'a pas été refoulé, on met ensuite la pièce dans l'eau bouillante, le bois refoulé reprend sa dimension primitive et forme le relief.

§ 3. *Courbure au feu nu.*

On a employé fort anciennement aussi dans divers arts l'action du calorique et de la vapeur pour courber le bois; le fendeur à la forêt ne parvient à rouler les *cerches* employées dans la boissellerie qu'en faisant éprouver aux éclisses fraîchement débitées une vive chaleur. Lorsque le tonnelier a réuni verticalement dans un cercle provisoire en fer les douves qu'il a dressées et taillées en fuseaux pour en former un tonneau, c'est par un feu vif et clair allumé en dedans de cet assemblage qu'il assouplit le bois. L'effort d'une corde suffit alors pour faire joindre les douves, sur lesquelles on se hâte d'appliquer les cercles, tandis que, sans le secours de la chaleur, ces douves pourraient se rompre au lieu de plier.

C'est également au moyen du feu que les charpentiers de bateau courbent les longues planches de bordages dans les parties où leur flexibilité naturelle ne suffit pas.

Lorsque ces bordages sont minces ou débités dans des bois nouvellement abattus, la flamme d'une torche de paille ou de copeaux, qu'on en approche en les clouant, les assouplit assez pour qu'on les applique aux courbures de proue et de poupe; mais lorsqu'ils sont épais, on les amollit avant de les appliquer aux carènes en les plaçant au-dessus d'un feu clair, comme nous l'avons indiqué sur les deux projections, fig. 1^{re} de la planche XII.

Une extrémité *a* de la planche de bordage est engagée sous une traverse horizontale *b*, fixée par des boulons à deux pieux *c c*. Elle est soutenue au-dessus du feu *h* sur un fort barreau *d* porté par les crochets de deux grands chenêts *f, f*, également en fer et mobiles.

On peut établir le barreau à la distance et à la hauteur qui conviennent, avancer ou reculer les genêts pour que le feu agisse à la place et avec la vivacité qui doivent opérer l'amollissement et la courbure du bordage *a e*.

Une grosse pierre *g*, placée sur l'extrémité de ce bordage, augmente sa pesanteur et détermine sa flexion à mesure que la chaleur pénètre le bois. On accélère l'opération en mouillant fréquemment le dessus du bordage. Si, pendant qu'on pose un bordage sur la carène, il est nécessaire de lui continuer l'action de la chaleur, on fait usage de la torche dont nous avons parlé; on la soutient au bout d'une fourchette ou d'un réchand en fer. Cette méthode n'est cependant applicable qu'à des bois de peu d'épaisseur et en petit nombre, souvent on ne peut pas en préparer assez pour suffire à

des constructions actives. D'ailleurs, l'action de la chaleur n'est pas assez également appliquée aux bordages pour leur donner la même souplesse à tous ou d'un bout à l'autre de chacun. On a successivement fait usage de différents appareils, que nous allons décrire, pour obtenir un amollissement plus parfait, plus uniforme, et opérer sur un plus grand nombre de pièces en même temps.

§ 4. Amollissement dans l'eau bouillante.

Le premier appareil représenté par une projection horizontale, fig. 2, et une coupe fig. 3 suivant la ligne *A B*, planche XII, consiste dans une très-longue chaudière en cuivre *a* montée dans un fourneau à deux foyers accolés *b, b*, séparés par une cloison, afin que la flamme de chacun parcoure la moitié de la longueur du fond de la chaudière pour gagner la cheminée *c* qui lui correspond. Le fond de la chaudière est soutenu par des barreaux en fer; son bord supérieur porte une feuillure pour recevoir les feuilles de tôle qui forment son couvercle. Des escaliers *f* servent à monter sur les petits murs qui enveloppent la chaudière.

Les pièces qu'on veut amollir sont descendues dans l'eau bouillante au moyen de deux petites grues *d, d*, qui sont sur pivots, pour qu'on puisse les détourner lorsqu'elles gênent. On voit au plan les poteaux auxquels elles sont attachées et leurs treuils *e, e*.

Les bois sont posés dans la chaudière sur des tasseaux ou petits chantiers, pour qu'ils ne touchent pas le fond et qu'ils soient partout environnés d'eau.

Lorsque les bordages sont restés assez de temps dans le bain bouillant, on les retire au moyen des grues, on les égoutte et on les porte tout chauds et humides sur les formes où l'on veut leur faire prendre la courbure, ou sur la carène, où ils sont immédiatement cloués ou chevillés.

Ce procédé rend les bois de moyenne épaisseur assez souples; mais on a reconnu, par la coloration de l'eau et par le goût acerbe qu'elle prend, qu'une partie de la matière constitutive du bois lui est enlevée. L'expérience a fait voir que les bois soumis à cette opération perdaient de leur dureté, qu'en séchant ils prenaient plus de retrait que d'autres et que leur durée était moindre.

§ 5. *Amollissement à la vapeur.*

Dans le second appareil, les bois sont soumis à l'action de la chaleur et de l'humidité par le moyen de la vapeur de l'eau bouillante.

La fig. 4 est la projection horizontale de ce second appareil. La fig. 5 est une coupe sur la ligne *C D* (pl. XII).

a b est une caisse proportionnée à la longueur et au nombre des bordages que l'on veut amollir. Cette caisse est construite en madriers de chêne. Elle est maintenue dans des cadres aussi en bois de chêne *c, c*, en forme de chevalets qui l'isolent et l'élèvent au-dessus du sol.

L'extrémité *a* est fermée par un fond fixe, en chêne, joint avec autant de soin que le reste de la caisse; le bout *b* s'ouvre et se ferme pour le passage des bordages par une porte à coulisses qui se meut verticalement dans le châssis à chapeau *d* au moyen d'une corde et de deux poulies *m, m*, et d'un treuil *p*. Dans l'intérieur de la caisse sont des grilles verticales en fer également espacées. On distribue dans leurs compartiments les bordages qu'on veut soumettre à la vapeur. Ces grilles ne sont point représentées dans la figure 5, pour ne pas compliquer inutilement le dessin.

À l'extrémité *a* de la caisse est une chaudière *e*, maçonnée dans un fourneau avec sa cheminée *f*. On descend au foyer par quelques degrés *g*.

La chaudière est exactement fermée par un couvercle et n'a de communication qu'avec l'intérieur de la caisse par un tuyau coudé *i* qui traverse le fond vertical du bout *a*. Après qu'on a placé les bordages dans la caisse la porte à coulisses du bout *b* est hermétiquement fermée; la chaudière est remplie d'eau jusqu'à 0^m,30 environ de son couvercle et le feu est allumé. Dès que l'eau est en ébullition, la vapeur se rend dans la caisse, elle pénètre les bordages, qu'on laisse dans cette étuve autant d'heures qu'ils ont de fois 27 millim. d'épaisseur. Ils deviennent assez souples pour être courbés suivant les contours ordinaires qu'on veut leur faire prendre.

Cet appareil est bon pour les bordages qui n'ont qu'une épaisseur moyenne; mais il n'est pas assez puissant pour les bordages très-épais et les précintres des gros vaisseaux; il a d'ailleurs un grave défaut: c'est l'impossibilité d'empêcher les bois qui forment la caisse de se tourmenter par l'effet de la chaleur, et de laisser échapper la vapeur par leurs joints, ce qui diminue considérablement son action.

§ 6. *Amollissement dans le sable.*

On a substitué à la caisse à vapeur une étuve à sable qui est représentée, fig. 6, pl. XII, par un plan, et, fig. 7, par une coupe suivant la ligne *EF*.

La chambre *a* de l'étuve est formée par des murs parallèles peu élevés; elle est évasée à ses deux extrémités pour la commodité du service. C'est dans cette chambre que l'on enfouit les bordages sous le sable chaud et mouillé. Le fond est horizontal; il est composé de plaques de fer coulé, portées sur des bandes de fer forgé répondant à leurs joints qui sont recouverts par d'autres bandes de fer *b, b*. Au-dessous de ce fond s'étendent les cheminées horizontales dans lesquelles se développent les flammes de deux fourneaux accolés *d, d*, établis en dessous et au milieu de la longueur de l'étuve. Les parois inférieures de ces cheminées horizontales sont formées par des massifs en maçonnerie, élevés au niveau de l'encaissement des deux fourneaux dont les foyers sont séparés par une cloison; *e, e*, sont les grandes cheminées verticales auxquelles aboutissent les cheminées horizontales. Dans la coupe, fig. 7, on voit en *d* la grille de l'un des fourneaux et l'entrée d'une des cheminées horizontales, divisée en trois conduits *e, e, e*, par deux cloisons en fer qui ont pour objet de soutenir les bandes qui portent le fond de la chambre d'étuve. L'une de ces cloisons, qui sont à jour, est représentée séparément, vue par le côté, fig. 8.

Les degrés *f* servent à descendre aux fourneaux; ceux *g* servent à monter sur l'étuve. Une chaudière *h*, son fourneau et sa cheminée *i* sont établis au milieu de la longueur de l'étuve et du même côté que les grandes cheminées; les degrés *l* conduisent au niveau du cendrier. Cette chaudière sert à faire bouillir l'eau pour arroser le sable. Deux grues, *m, m*, servent à mettre les bois à l'étuve et à les en tirer; elles sont sur pivots pour qu'on puisse les détourner lorsqu'elles gênent. *n, n*, sont les treuils de ces grues, dont les emplacements ne sont indiqués au plan que par les poteaux auxquels elles sont attachées.

Lorsqu'on veut faire usage de l'étuve, on allume le feu des fourneaux pour échauffer le sable, qu'on arrose avec de l'eau bouillante. On ôte une partie du sable chaud, on le dépose sur les bords de l'étuve pour arranger les bordages, qu'on place de champ à côté les uns des autres; on a soin qu'ils soient séparés du fond par une couche de sable de 0^m,12 d'épaisseur, et qu'ils ne se touchent point; on remplit les intervalles et l'on recouvre les

bordages avec du sable chaud; on peut former ainsi plusieurs lits de bordages. Il faut que le tout soit couvert de 0^m,40 de sable. On entretient un feu vif et clair, et l'on arrose continuellement avec de l'eau bouillante; il convient d'avoir à proximité de l'étuve à sable un réservoir ou un puits pour alimenter sans cesse la chaudière.

Les bordages éprouvent dans cette étuve une température beaucoup plus élevée que dans la caisse en bois et sont mieux pénétrés par la vapeur. Ceux de médiocre épaisseur doivent rester dans l'étuve autant d'heures qu'ils ont de fois 0^m,027 d'épaisseur, comme précédemment, mais ils en sortent bien plus souples. Ce temps doit être augmenté pour les bordages épais; il faut que ceux de 0^m,16 restent à l'étuve au moins 8 heures; ceux d'une plus grande épaisseur, comme les précintres, doivent rester encore plus de temps. Il en est cependant dont l'épaisseur et la courbure doivent être si grandes que l'amollissement à l'étuve au sable ne suffit pas, et qu'on est obligé de les gabarier (1) à la hache pour achever de leur donner les contours qu'exigent les parties qu'ils doivent revêtir.

§ 7. Amollissement à la vapeur sous une haute pression.

La grande puissance qu'on obtient aujourd'hui de la vapeur pourrait être appliquée avec plus de succès que les étuves au sable à l'amollissement des bois qu'on veut courber. L'appareil consisterait en un gros tube de fer qu'on substituerait à la caisse de la fig. 4, dans lequel on placerait les bois à amollir; une ou deux chaudières, plus puissantes que celles de la même figure, fourniraient la vapeur sous la pression de plusieurs atmosphères. Il est hors de doute que, par ce moyen, la chaleur et la vapeur pénétreraient jusqu'au cœur des plus grosses pièces de bois, et qu'on les amollirait à un point auquel on n'est pas encore parvenu, et qui les rendrait susceptibles de se plier aux plus grandes courbures.

§ 8. Courbures sur des formes ou moules.

Quel que soit le degré d'amollissement qu'on puisse faire subir aux gros bois, leur courbure exige toujours des appareils embarrassants qu'il est

(1) On appelle *gabarier*, tailler une pièce de bois à la hache ou à l'herminette, selon une courbure ou un *gabari* donné.

impossible d'employer pour les plier en même temps qu'on les pose. Il faut donc qu'ils soient courbés avant d'être mis en œuvre, et suivant les courbures des places qu'ils doivent occuper. C'est particulièrement le cas des pièces cintrées dont la charpenterie civile fait usage, parce qu'il est indispensable de les établir sur le trait, ou *étalon*, en même temps que les autres pièces avec lesquelles on veut les combiner, pour tracer exactement leurs assemblages.

On courbe les bois équarris après qu'ils sont chauffés et amollis sur des formes ou moules qui ont le gabari que ces bois doivent conserver pour être mis en œuvre.

La méthode la plus simple est celle représentée en projection horizontale dans la partie *A* de la fig. 9, pl. XII.

De forts pieux verticaux *b, b, b*, sont plantés le long de la courbe suivant laquelle on veut cintrer une pièce de bois; ils sont écartés les uns des autres à des distances qui dépendent du degré de courbure qu'il s'agit de donner, et qui ne doivent pas excéder un mètre et demi. Ces pieux sont en nombre suffisant pour le développement de la pièce.

En sortant de l'étuve, la pièce à courber marquée *k* est posée sur le sol uni et horizontal; un de ses points, celui où l'on veut faire commencer la courbure, est engagé entre deux pieux *a, d*. Au moyen d'un palan *l*, fixé à un pieu central *m*, et qu'on attache successivement à différents points *n* de la pièce *k*, on amène cette pièce en contact avec tous les pieux; à mesure qu'elle les touche, on la fixe par de très-forts piquets *e, e, e*, que l'on chasse dans des trous amorcés d'avance, afin que l'opération soit faite rapidement et que le bois n'ait pas le temps de perdre assez de flexibilité pour se refuser à la courbure.

Lorsque la pièce *k* est ainsi assujettie, on la laisse refroidir et sécher, après quoi on l'enlève pour procéder à la courbure d'une autre pièce.

Si l'on veut que la pièce *k* soit mieux maintenue, pour qu'elle ne puisse pas se tordre, on a recours au procédé indiqué par la partie *B* de la même fig. 9, et par la coupe verticale, fig. 10, faite suivant la ligne *GH* du plan.

Les pieux *c, c, c*, sont carrés et dressés avec soin du côté où le contact doit avoir lieu. La pièce *k* est, comme précédemment, engagée en sortant de l'étuve entre les deux pièces *a, d*; elle pose sur des chantiers *t, t*, établis dans un même plan de niveau. A mesure qu'on la plie à l'aide du palan *g*, on la retient par deux boucles carrées en fer *u, u*, l'une en dessus, l'autre en dessous, qui embrassent le pieu avec lequel elle est en contact, et deux forts tasseaux *v, x*. Ces boucles sont serrées par des coins *y, y*; on a

soin de passer d'avance la boucle inférieure sur le pieu. Le palan saisit la pièce *k* par l'intermédiaire d'une frette en fer *s* qu'on peut changer de place et qu'on fixe avec un coin.

En opérant de ces deux manières, on ne peut courber qu'une seule pièce; la fig. 11 est la projection verticale d'un chevalement sur lequel on peut en courber plusieurs à côté les unes des autres. La fig. 12 est sa coupe verticale sur la ligne *I J*. Ce chevalement se compose d'une suite de sommiers horizontaux *a, a*, dont le dessus est dans la surface suivant laquelle les pièces doivent être courbées. Ces sommiers sont soutenus aux différentes hauteurs et suivant les déversements qui conviennent à la courbure par des pieux jumeaux, verticaux *b, b*, ou inclinés *d, d*, qui les unissent; l'écartement des pieux est maintenu par des entretoises *c, c*; une croix de Saint-André *e* placée au-dessous du sommier du milieu empêche le déversement latéral; on doit établir plusieurs croix si la longueur du chevalement les comporte.

La pièce *k* est posée horizontalement sur le sommier du milieu et appliquée sur les autres sommiers, au moyen de deux palans *g, g*, attachés successivement à différents points pris à égales distances des deux côtés du premier point d'appui. Elle est retenue, à mesure qu'elle arrive en contact, par deux liens en fer *f, f*, qui embrassent le sommier et une forte cale *i*; chaque lien est formé d'un étrier et d'un barreau de fer *h* passé dans les yeux des branches. Ces liens sont serrés par des coins *o, o*, chassés entre les cales et le barreau. On peut courber, à côté de la pièce *k*, une autre pièce *k'*, fig. 12, et même un plus grand nombre, si l'on a donné aux sommiers *a, a*, une longueur suffisante.

On a remarqué que, par ces deux méthodes, la courbure n'est pas parfaitement régulière; que des petits *jarrets* se formaient quelquefois aux points où la pièce était en contact avec les pieux ou les sommiers. Pour éviter ces *jarrets*, il faut courber les pièces sur un gabari horizontal *m m*, fig. 13, qui présente une surface courbe continue. Ce gabari peut être construit en pierres de taille, ou en bois, ou en fer. La fig. 13 le suppose en bois; il est formé de plusieurs madriers qui se croisent et dont les joints alternatifs répondent à des pieux *a, a*, auxquels ils sont fixés par des boulons. Ce gabari est élevé sur de petits chantiers *c, c*; ses extrémités sont consolidées par des pieux *b, b*.

La pièce à courber *k* est amenée toute chaude et imprégnée de vapeur sur les chantiers *c, c*; elle est appliquée au gabari par le moyen des palans *d, d*, et y est retenue par de forts étriers en fer *e, e*, qui l'embrassent ainsi

que le gabari. Les brides *f, f*, des étriers portent sur des cales *g, g*; elles sont serrées à vis et écrous.

Les coussinets en bois dur empêchent les cordages des palans de dégrader les arêtes de la pièce *k*, et des rouleaux en bois les soutiennent et les écartent du gabari, pour qu'ils ne portent pas contre ses faces. La fig. 14 est une coupé verticale suivant la ligne *MN* du plan, et la fig. 15 une autre coupe suivant la ligne *PQ*.

On peut encore courber une pièce de bois en la chargeant d'un poids considérable, réparti suivant le besoin, pour la forcer à se mouler dans une forme concave en maçonnerie de pierre de taille ou en fer coulé.

Les méthodes que nous venons d'indiquer pourraient servir à redresser des bois qui proviendraient d'arbres courbés naturellement; les formes et gabaris devraient alors être plans.

Soit qu'on commence à courber une pièce de bois un peu grosse à partir de son milieu ou de l'un de ses bouts, la contraction de ses fibres dans la partie concave, et leur extension sur la partie convexe, sont bien plus grandes au point où l'on achève la courbure qu'à celui où on l'a commencée. C'est un inconvénient qui s'oppose souvent au succès complet de la courbure, et qui peut nuire à la qualité de la pièce, soit en fatiguant les fibres de la partie convexe, soit en occasionnant des fissures intérieures; il disparaîtrait, ou du moins serait fort diminué, et l'opération deviendrait singulièrement facile, au moyen d'un appareil qui déterminerait des contractions et des extensions uniformes sur tous les points en même temps.

Cet appareil pourrait consister en un système de rayons inflexibles, d'abord parallèles, qui saisiraient perpendiculairement à sa longueur la pièce qui leur serait présentée aussitôt sortie de l'étau; on ferait converger ces rayons simultanément, mais lentement vers le centre de courbure et de plus en plus, à mesure que la pièce céderait à leurs efforts jusqu'à ce qu'elle ait atteint le gabari qu'il s'agirait de lui donner.

Il serait à désirer que des établissements à vapeur, comme ceux dont nous avons parlé plus haut, et pourvus de bons moyens de courber les bois, fussent formés près des lieux où l'on fait habituellement de grands travaux, pour fournir de pièces courbes de fil, suivant des gabaris donnés, aux arts qui peuvent en faire usage, notamment à celui de la charpenterie civile, qui en emploierait beaucoup si elle pouvait s'en procurer facilement.

CHAPITRE VI.

DE LA CONSERVATION DES BOIS.

§ 1. *Emmagasinement et empilement.*

On ne saurait apporter trop d'attention pour la conservation des bois. Du moment où ils sont abattus jusqu'à celui de les mettre en œuvre, ils exigent des soins et une surveillance suivis, pour en écarter tout ce qui peut leur être préjudiciable et arrêter la propagation des vices dont ils peuvent être atteints.

La conservation des bois de construction abattus est, aussi bien que celle des forêts, un objet d'intérêt général et d'économie particulière; la négligence qui laisse les bois se détériorer dans des magasins et des chantiers, ou même isolément, et la prodigalité qui les consomme sans discernement et sans utilité, sont aussi blâmables que le serait un mauvais système forestier.

Un courant d'air trop rapide et trop sec, une chaleur trop vive, une humidité constante d'une température élevée, des alternatives de sécheresse et d'humidité, sont autant de causes très-puissantes de détérioration des bois nouvellement abattus, conservés en grume ou équarris et débités.

Une dessiccation trop rapide, par l'effet d'un air trop sec ou d'une chaleur trop vive, hâle le bois et le fait fendre. De très-belles pièces peuvent ainsi perdre une grande partie de leur valeur, parce que, pour en tirer parti, on est forcé de les faire débiter suivant de petits échantillons, en faisant le sacrifice des parties déchirées par les fentes.

Une température trop élevée dans des magasins clos avant qu'une pièce de bois soit parfaitement sèche, fait entrer en fermentation les liquides végétaux qu'elle contient; sa qualité s'altère; son bois passe à un état qu'on désigne par la dénomination de *bois échauffé*; il a perdu sa ténacité, et est incessamment atteint de la pourriture sèche et de la vermou-lure. Plus le nombre des pièces renfermées en même temps est grand, plus le mal est rapide. En entrant dans des magasins où des pièces de bois

se sont échauffées, on s'aperçoit aisément de ce genre de détérioration, par une odeur vive et acide et par la chaleur qu'on y ressent.

L'exposition aux injures du temps, le gisement prolongé sur le sol, l'emmagasinement dans un lieu humide et privé d'air, occasionnent la pourriture humide et vicient les bois d'ancienne coupe qui étaient les plus sains lorsqu'on les a abattus. L'atteinte alternative de l'air sec, de l'humidité et des gelées désorganise le bois, en rompt les fibres et détermine un autre genre de pourriture qui ressemble à celle des arbres morts sur pied.

Pour conserver des bois propres aux constructions, on doit éviter avec soin de les placer dans les circonstances dont nous venons de parler.

Dès que les arbres sont abattus, débarrassés de leurs branches et de leurs souches, et tronçonnés aux longueurs que leur rectitude ou leurs difformités et les besoins du commerce déterminent, on se hâte de les extraire de la forêt. Si l'on est forcé de les y laisser jusqu'à l'époque où la rigueur de l'hiver fait cesser les travaux de l'agriculture et fournit plus de moyens de transport, on les pose de telle sorte qu'ils ne touchent point la terre, on les élève même sur des rondins qui servent de chantiers, afin de les préserver de l'humidité du sol et des plantes qui le couvrent.

Dans les contrées où les rayons du soleil ont encore beaucoup de force après la saison de la coupe, on couvre les arbres abattus avec des branchages et des herbes sèches, pour les garantir d'une trop vive chaleur et d'un dessèchement trop rapide, qui les ferait fendre ou gercer.

Les mêmes soins doivent être observés aux lieux de rassemblement des bois extraits des forêts. Aucune pièce ne doit être laissée immédiatement posée sur le sol. Le contact avec la terre et avec les plantes qui poussent rapidement autour d'une pièce de bois est une des causes les plus rapides de pourriture : l'usage de plusieurs ouvriers qui déposent leurs bois en graine sur la terre et le long des murs de leurs habitations est des plus pernicieux ; le germe de la pourriture s'y insinue promptement, et il continue de les détériorer, même après qu'on les a débités et mis en œuvre. En quelque lieu que l'on rassemble des bois, ils doivent être élevés sur des chantiers et être suffisamment écartés du sol pour que l'air circule librement en dessous et les atteigne partout.

Le plus souvent, les bois sont réunis et empilés en plein air ; le mieux serait de les placer dans des hangars qu'on pourrait aérer à volonté, afin qu'ils fussent à l'abri de la pluie et du soleil, sans cesser d'être exposés à l'air, dont on pourrait diriger et modifier l'action. On a observé

que, sous des hangars entièrement ouverts de tous côtés, les bois se hâlent et se fendent plus rapidement qu'en plein air.

Lorsque les bois sont en grume, on les engerbe les uns sur les autres, comme on le voit dans les projections verticales, fig. 1 et 2 de planche XIII. Dans la première, les arbres sont projetés suivant leur longueur; dans la deuxième, ils se présentent par leurs bouts. Ils sont élevés sur des rondins soutenus par des cales en bois ou en pierre; des coins les empêchent de rouler. Quoique leurs formes arrondies et les irrégularités de leurs surfaces laissent des vides, la circulation de l'air n'est pas suffisante, et des bois ainsi engerbés pour longtemps, surtout s'ils ne sont pas secs, se détériorent; il est préférable d'empiler les arbres par lits les uns au-dessus des autres, en les croisant à angle droit. Les fig. 3 et 4 sont deux projections verticales d'une même pile ainsi formée. Mais cette disposition exigeant beaucoup de place, vu que la pile se trouve avoir autant de largeur que de longueur, il n'est pas toujours possible de la pratiquer si l'on n'a pour lieux d'empilement que des espaces étroits, et surtout s'il s'agit de pins et de sapins qui sont extrêmement longs. Lorsqu'on est forcé d'empiler des arbres en les plaçant tous dans le même sens, on les arrange par lits qu'on sépare avec d'autres pièces de même espèce fendues en quartiers et couchées suivant la largeur de la pile; au moyen de ces sortes de cales écartées les unes des autres de quelques décimètres, la circulation de l'air est assurée.

La fig. 5 est la projection d'une pile dans laquelle les sapins sont vus par leurs bouts. Dans la fig. 6, ils sont projetés parallèlement à leur longueur.

On a soin d'alterner d'un lit à l'autre les gros et les petits bouts des arbres, afin que la pile s'élève de niveau, et l'on fait correspondre les cales de l'un à l'autre lit verticalement au-dessus les unes des autres, afin que la charge ne fasse pas courber les bois des lits inférieurs.

Si l'on a une grande quantité de bois, on en forme plusieurs piles en réunissant dans chacune les arbres de même espèce et de même longueur. Autrement, on a la précaution de placer les plus longs en dessous.

On abrite les piles ainsi formées par des toits composés de planches appliquées suivant la pente qu'on a ménagée en arrangeant les bois. On a conclué, fig. 2 et 3, deux manières de former au-dessus des bois des toits provisoires en planches. Les fig. 5 et 6 indiquent la disposition qu'on donne à ces toits lorsqu'ils doivent subsister longtemps.

Lorsque les bois sont équarris ou débités, leur conservation exige

encore plus de soin, non-seulement parce que les bois acquièrent plus de valeur à mesure qu'ils sont plus façonnés et transportés de plus loin, mais aussi parce que, leur surface augmentant à mesure qu'ils sont débités en échantillons plus petits, ils présentent plus de prise aux causes de détérioration et en sont plus promptement pénétrés.

Les bois d'un même échantillon, c'est-à-dire qui ont le même équarrissage et la même longueur, abattus et débités en même temps, doivent être empilés ensemble. On ne doit pas réunir dans une même pile des bois d'espèces ou d'essences différentes et de coupes différentes.

Les premières pièces d'une pile, c'est-à-dire les plus basses, ne doivent jamais poser à nu sur le sol; on les élève sur des chantiers. Les plus hauts chantiers sont les meilleurs, afin de tenir les piles le plus élevées possible au-dessous du sol, pour qu'elles soient moins atteintes par son humidité et que l'air circule aisément au-dessous.

On a vu des piles de bois dont les pièces de dessus étaient parfaitement sèches et saines, tandis que celles du dessous étaient humides, attaquées de pourriture et couvertes de champignons par l'effet du défaut d'air et des exhalaisons du sol, dont elles étaient trop rapprochées. Le meilleur moyen de remédier, ou au moins d'atténuer cet inconvénient, c'est de paver le terrain sur lequel les piles doivent être formées, comme on le voit fig. 7 et 8, ou de le couvrir d'une épaisse couche de béton et d'élever des petits murs ou des petits piliers en pierre pour exhausser les premiers chantiers qui doivent supporter les bois.

Pour former les piles de bois débité, on pose les pièces par lits. On a soin que dans chaque lit les pièces ne se touchent pas; on les écarte également les unes des autres. Le mieux serait que leur écartement fût au moins égal à leur épaisseur; mais l'espace ne permet pas toujours cette disposition.

Lorsque les pièces se croisent d'un lit à l'autre à angle droit et que les lits contiennent chacun à peu près le même nombre de pièces, les piles sont carrées, comme celle représentée par deux projections verticales, fig. 7 et 8.

Cette méthode d'empilement convient mieux aux pièces équarrées qu'aux planches dont le contact trop large par rapport à l'épaisseur, donne lieu à l'échauffement du bois; elle ne laisse d'ailleurs pas assez de vide pour la circulation de l'air. On ne doit empiler de cette manière que des planches parfaitement sèches et dans un lieu également sec. Une pile de planches formée suivant cette méthode est représentée par ses deux projections ver-

ticales, fig. 11 et 12. Il est préférable de ne placer de deux en deux lits qu'un petit nombre de planches, trois, par exemple, qui servent alors de cales et laissent un plus libre cours à l'air. Une pile formée de la sorte a pour projections verticales les fig. 10 et 11. C'est ce qu'on pratique aussi pour les autres espèces de bois, ainsi que les projections verticales, fig. 7 et 9, le représentent pour une pile de pièces carrées.

La meilleure méthode d'empilement qui convient d'ailleurs au défaut de largeur des espaces dont on peut disposer, est celle représentée par les deux projections verticales, fig. 13 et 14, pour une pile de planches ou de madriers, et par les projections verticales fig. 15 et 16, pour une pile de bois équarris. Tous les bois sont placés de niveau dans le même sens, autant que possible, suivant la direction des vents propres à les sécher sans les hâler ni les fendre. Les lits sont séparés par des lattes ou liteaux beaucoup plus étroits que les bois empilés, afin de réduire leur contact. On leur donne ordinairement 0^m,40 de largeur sur 0^m,027 d'épaisseur. On les débite dans des planches. Ces cales sont distribuées également à quelque distance les unes des autres; elles se correspondent verticalement, afin que les pièces inférieures ne soient point courbées par le poids de celles qu'elles auraient à supporter à faux sans cette disposition. La distance des cales entre elles est déterminée de façon que la propre pesanteur de chaque bois ne le fasse pas fléchir entre deux points d'appui. Pour les pièces méplates, c'est-à-dire celles autres que les planches et madriers, qui ont une dimension d'équarrissage plus large que l'autre, on a soin que leur écartement dans un lit réponde verticalement au milieu des pièces du lit inférieur et du lit supérieur, afin que l'air, en circulant de haut en bas et de bas en haut, soit forcé de glisser sur les faces horizontales des pièces. Cette disposition est représentée par une pile qui a pour ses deux projections verticales les fig. 15 et 16, pl. XIII.

Les chantiers sur lesquels cette pile est formée sont supposés élevés sur des dés en pierre pour les garantir de l'humidité du sol.

Les bois empilés en plein air doivent être couverts d'un toit. Ceux des fig. 2 et 3, qui conviennent aux bois en grume provisoirement empilés, sont formés de planches qui portent sur ces bois ou sur des traverses soutenues par de forts piquets.

Le toit de la pile représentée par les fig. 5 et 6 est supposé fait avec plus de soin, les sapins se prêtant à un arrangement plus régulier.

Lorsque les toits doivent servir longtemps ou qu'on veut les employer successivement pour d'autres piles de bois de sciage ou de bois équarris, on

les construit, au moyen de petites charpentes légères, comme celui des fig. 10, 11 et 12.

On élève les piles qu'on doit couvrir le plus haut possible pour abriter une plus grande quantité de bois sous un même toit. Pendant la mauvaise saison, on garantit latéralement les piles de la pluie par des planches qu'on appuie contre ces piles, comme on le voit fig. 11.

On doit éviter de se servir de planches pourries et vermoulues pour former les toits au-dessus des piles, parce que la pluie, en les lavant et les traversant, peut porter sur les bois sains des germes de détérioration.

Les bois courts, courbes et droits, sont empilés en *chaise*, une pile de bois droit très-court est représentée par deux projections verticales, fig. 28 et 29.

On place quelquefois les bois verticalement appuyés contre des murailles élevées, comme nous l'avons représenté par un profil, fig. 25. On les fait porter par le bas sur un petit plancher exhausé par quelques chantiers au-dessus du sol pavé. On les abrite par le haut au moyen d'un toit ou auvent qui s'étend tout le long de la partie du mur contre laquelle les bois sont habituellement placés. On choisit une exposition au nord, afin que les bois ne soient point échauffés par le soleil ni mouillés par les pluies.

Lorsque les gros bois carrés sont conservés en piles comme celle représentée par un profil, fig. 26, et une projection verticale, fig. 27, on ne peut pas élever ces piles très-haut, à cause de la difficulté de monter les grosses pièces sur les lits supérieurs.

Le plus souvent les piles sont établies en plein air parce qu'on manque de magasins assez spacieux ou convenablement disposés pour que le maniement des bois lors de leur entrée, sortie et empilement soit praticable. Un magasin destiné à la conservation des bois très-longs doit avoir ses portes placées à ses extrémités, afin qu'on ne soit point obligé de tourner les pièces pour les faire arriver à leurs places. Pour empiler les gros bois dans les magasins, on se sert de la chèvre ou de palans attachés aux poutres des planchers supérieurs ou des combles; on doit même, en construisant les hangars, donner à ces poutres assez de force pour résister aux efforts réitérés des palans sans nuire aux charpentes.

Pour former les piles de gros bois en plein air, on a recours à un moyen fort simple qui est représenté dans le profil, fig. 26, pl. XIII, où les bois empilés sont vus par le bout. On établit deux bois parallèles *a, a*, en pente et soutenus sur des chantiers pour en former un plan incliné; dans la projection fig. 27, ces deux pièces ne sont que ponctuées. La pièce *b*, qu'il s'agit de

monter sur le plan incliné, est saisie à chacun de ses bouts par un cordage *d*, à l'extrémité duquel la force d'une paire de bœufs est appliquée; la pièce *b* glisse sur le plan incliné, et elle arrive au sommet, où il est aisé de la mettre à sa place *c*. Des rouleaux diminuent le frottement des cordes.

Il suffit, pour cette manœuvre, de deux paires de bœufs chacune avec son bouvier, et d'un seul homme pour veiller à ce que la pièce monte autant d'un bout que de l'autre sur les bois en plan incliné et faciliter, s'il en est besoin, son glissement. Les plus fortes pièces peuvent par ce moyen être élevées à peu de frais à une grande hauteur.

Lorsqu'on emmagasine des bois dans des bâtiments ou hangars à plusieurs étages, on suit les mêmes modes d'arrangement que nous venons de décrire, si ce n'est qu'on fait des piles moins élevées pour ne point charger trop les poutres et solives qui forment les étages, qu'on ne planchéie point pour laisser une plus libre circulation à l'air. Les baies des fenêtres ne sont garnies que de volets, qu'on ouvre et qu'on ferme selon les saisons et les vents, et suivant qu'il s'agit d'aérer les bois ou de les garantir du hâle, de la pluie, du brouillard ou des ardeurs du soleil. Dans ces sortes de magasins, les plus grosses pièces sont placées au rez-de-chaussée et aux étages les plus bas.

Lorsque les magasins clos n'ont qu'un rez-de-chaussée, il est indispensable qu'en outre des fenêtres ouvertes dans les murs, les toits soient percés de lucarnes et de cheminées pour servir de ventouses, et qu'on puisse d'ailleurs les ouvrir et les fermer à volonté.

Le sol d'un magasin destiné à la conservation des bois de construction doit être plus élevé que le terrain environnant. Il convient qu'il soit pavé, et mieux encore couvert d'une couche assez épaisse de béton ou d'un mastic bitumineux et hydrofuge, pour fermer tout accès à l'humidité de la terre. Il ne doit pas être planchéié, parce que les bois des soliveaux et les planches, en se pourrissant rapidement, communiqueraient leurs vices à ceux renfermés dans ce magasin.

Il est extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, d'arrêter les progrès de la détérioration des bois, et dès qu'ils sont atteints d'un commencement de maladie quelconque, quelque faible qu'il soit, il n'y a pas moyen de les ramener à leur premier état. On peut sans doute enlever avec la hache ou la scie les parties attaquées par les vers et la pourriture et même le bois échauffé; mais, comme nous l'avons déjà fait remarquer, on ne saurait juger exactement de la limite où le mal s'arrête. Alors même que la hache

a pénétré dans le bois qui paraît vif, qu'on croit sain et qu'on voudrait conserver, on ne peut être certain qu'il n'est pas atteint d'un commencement de détérioration qui peut continuer ses progrès; on conçoit alors quelle surveillance et quels soins exigent les magasins pour prévenir des avaries qui peuvent causer des pertes considérables.

Il est utile de remuer souvent les bois, de les retourner sur leurs différentes faces, de les changer de place et de sens d'empilement, de les faire passer d'un côté à l'autre d'une pile, du milieu sur les côtés et du dessous à la partie supérieure. Dans ces manutentions, on doit visiter avec soin toutes les pièces, sortir des piles et même des magasins, celles qui font soupçonner le moindre commencement de détérioration. Les piles dans lesquelles on a trouvé des bois avariés doivent être changées de place, établies dans un lieu plus aéré. En les remontant, on doit écarter les bois davantage et doubler de surveillance à leur égard.

On doit changer avec le même soin les cales et les chantiers qui commencent à se pourrir, afin qu'ils ne communiquent pas leurs vices aux pièces avec lesquelles ils sont en contact. On est souvent porté à employer pour chantiers et pour cales des vieux bois viciés, c'est la coutume la plus pernicieuse. On ne doit faire usage, pour supporter les pièces et les séparer que de bois très-sains, et l'on ne doit pas craindre de débiter du bois neuf pour cet objet. La parcimonie à cet égard peut devenir onéreuse par le tort que le contact des chantiers et des cales viciés peut faire aux bois empilés, surtout s'ils doivent rester longtemps en magasin.

On doit s'abstenir de débiter les bois dans les magasins destinés à leur conservation; si l'on est forcé d'agir autrement, on doit avoir le plus grand soin de n'y laisser aucune écorce, parce qu'elle contient le plus souvent des insectes; ni aucun amas de sciure, qui entre rapidement en fermentation et peut communiquer aux bois le germe de la pourriture.

On doit avoir un soin égal pour l'entretien des couvertures des magasins, aussi bien que celle des piles formées à l'air, afin que l'eau de la pluie ne pénètre pas dans l'intérieur et n'atteigne pas les bois.

Lorsque les bois ont été mouillés accidentellement, on doit les faire sécher rapidement avant de les emmagasiner; on les expose à l'air en les appuyant verticalement contre des murs, ou bien on en forme des piles creuses comme celle représentée fig. 19 en projection verticale, et fig. 20 en projection horizontale. Pour que les faces du bois soient mieux exposées à l'air, on donne quelquefois aux piles creuses une forme pyramidale, fig. 21 et 22, en plaçant les bois en retraite les uns à l'égard des autres.

On en forme aussi des piles en croisant les planches en X, comme dans celle représentée fig. 23 et 24. Enfin, lorsque les planches ont été extrêmement mouillées, pour les faire sécher plus promptement par le contact de l'air, on les place presque de champ les unes au-dessus des autres en les appuyant contre des piquets. Les fig. 17 et 18 représentent, en projection verticale et en projection horizontale, cette disposition, qu'on peut élever aussi haut qu'on veut, et dans laquelle on peut multiplier les planches et les piquets beaucoup plus qu'on ne l'a fait dans les figures.

§ 2. *Immersion, dessèchement et condensation.*

En outre des moyens employés pour l'emmagasinement salubre des bois et leur conservation dans les approvisionnements qu'on en fait, les constructeurs et les marchands ont recherché s'il n'y aurait pas à leur faire subir quelque préparation qui pût détruire les causes de dégradation qu'ils renferment naturellement, et prévenir l'action de celles qui agissent extérieurement sur eux.

La parfaite dessiccation des bois a paru un des meilleurs moyens d'assurer leur conservation; on a, en conséquence, cherché à opérer cette dessiccation par une chaleur modérée appliquée aux pièces au moyen d'étuves construites exprès. On a reconnu qu'il était impossible de sécher complètement par ce moyen les grosses pièces, à moins de les laisser à l'étuve un temps beaucoup trop long, et que, par conséquent, il n'était utilement applicable qu'aux bois minces employés dans la menuiserie. On a, de plus, pensé que la dessiccation ne débarrassait point leurs pores des matières végétales qui n'ont point été converties en bois, auxquelles la moindre humidité rend leur fluidité et leur tendance à la fermentation, et par suite à la détérioration de la substance ligneuse. L'immersion, soit dans des étangs, soit dans des bassins construits exprès, lave les pores du bois et leur enlève les parties de la sève qui sont sujettes à se corrompre et à causer la pourriture. L'eau qui se trouve, par l'effet de ce lavage, substituée aux parties qu'elle a enlevées étant plus facile à évaporer, les bois parviennent plus aisément à l'état de sécheresse désirable, sans qu'on ait à craindre que le retour accidentel de l'humidité y occasionne la pourriture.

L'eau courante est préférable à l'eau stagnante, parce qu'en se renouvelant dans les pores du bois, elle doit les laver et les purger plus complètement de leur sève nuisible, tandis que l'eau stagnante, une fois saturée de cette sève, ne peut plus en extraire. C'est pour cette raison que le flot-

tage, dont il a déjà été question en parlant du transport des bois par eau, a paru avoir quelques avantages; mais il faut que l'immersion soit complète, car le bois dont une partie est dans l'eau, tandis que l'autre est dehors se détériorent, même en flottant. On a observé aussi que le séjour dans l'eau ne doit pas excéder trois à quatre mois, que l'immersion dans l'eau claire est préférable à celle dans les eaux troubles, parce que les parties extrêmement fines de terre et de sable que celles-ci contiennent s'introduisent avec elles dans les pores du bois, et que plus tard, lorsqu'il s'agit de le travailler, ces substances pierreuses émoussent le tranchant des meilleurs outils.

L'immersion dans l'eau chaude paraît agir plus rapidement; elle exige des chaudières comme celle que nous avons décrite fig. 2 et 3, pl. XII, à l'occasion de l'amollissement des bois qu'on veut courber. Mais l'opération est dispendieuse, surtout à cause de la nécessité d'entretenir l'eau à la température de 30 degrés pendant les dix à douze jours que le bois doit rester soumis à son action. Cette immersion n'est donc praticable avec économie qu'autant qu'on peut profiter de l'eau chaude rejetée par une machine à vapeur. Les bois sortis de ces bains sont séchés dans des étuves dont on règle la chaleur de telle sorte que la dessiccation soit prompte sans qu'elle fasse fendre le bois.

On voit que les premiers procédés employés pour amollir les bois qu'on voulait courber devaient atteindre déjà le but qu'on se proposait par l'immersion dans l'eau chaude; cependant les essais faits directement ne datent que de l'année 1784, époque à laquelle l'Académie des sciences chargea Peronnet et Buffon d'examiner les moyens proposés par le sieur Mignerou pour enlever la sève du bois vert, et pour durcir et courber toute espèce de bois. Des épreuves satisfaisantes eurent lieu à l'École militaire et au Garde-Meuble de Paris.

Néanmoins l'immersion dans l'eau bouillante dépasse le but; si le bois gagne quelque chose par rapport à l'extraction de la sève nuisible, l'espèce de cuisson qu'il éprouve lui nuit du côté de sa qualité, comme nous l'avons déjà fait remarquer page 194. Son immersion dans l'eau froide, courante et claire paraît être préférable.

L'immersion dans l'eau de la mer est propre aussi à la conservation des bois; on a observé que le bois absorbe une moindre quantité d'eau salée que d'eau douce, et qu'après être saturé de la première, il admet encore une notable quantité de la seconde.

Dans les ports, on conserve les bois de mâture dans des fosses aux mâts

constamment remplies d'eau de mer; ils sont retenus sous l'eau par des pieux et des traverses, dont les compartiments laissent la faculté d'extraire les mâts dont on a besoin. Les constructeurs de la marine du commerce conservent ces mêmes bois en les enfouissant dans les sables humides et salés des bords de la mer. Mais ce qui convient pour les bois de mâture ne peut pas être pratiqué pour les autres espèces de bois, surtout pour ceux destinés aux constructions civiles. Les bois qui ont séjourné dans l'eau de la mer sont imprégnés de sel; ils sont d'un travail difficile; leur pesanteur est accrue, et quelque moyen qu'on emploie pour les dessaler et les sécher, ils attirent toujours très-fortement l'humidité; ils ne pourraient pas, par conséquent, être employés sans de graves inconvénients dans la charpenterie des habitations, ni dans celle d'aucun édifice.

Dans les établissements de l'artillerie, les bois préparés et dégrossis pour les moyeux des roues sont également conservés dans des fosses à moyeux remplies d'eau douce, sous laquelle ils subissent souvent pendant un temps fort long une sorte de rouissage qu'on regarde comme utile sous le rapport de la perfection du charronnage.

L'immersion dans l'eau employée comme moyen conservateur des bois a trouvé, malgré quelques avantages, de nombreux contradicteurs; le plus fort argument contre l'utilité de cette méthode, du moins en ce qui regarde les bois de charpente, c'est la bonne conservation de quelques combles qui subsistent depuis plusieurs siècles, et dont les bois n'ont certainement pas été soumis à cette opération qui n'était pas connue.

Cependant, les nombreuses expériences de Duhamel prouvent que les bois soumis au flottage immédiatement après avoir été abattus et équarris, sont moins sujets à se corrompre et à se défendre, et que l'immersion arrête même quelquefois les progrès de leur détérioration et les garantit de la piqure des vers; mais elle atténue leur force. Les bois qui ont subi l'immersion séchent plus vite et plus complètement, ce qui provient de ce que l'eau s'évapore plus facilement que la sève dont elle a pris la place, ou qu'elle aide son évaporation en la rendant plus fluide.

Les menuisiers qui veulent faire sécher promptement un morceau de bois le mouillent avant de l'exposer à l'air; il est probable que le mouvement de l'eau en s'évaporant, détermine celui de l'humidité intérieure pour s'échapper du bois, ou qu'elle ouvre les pores pour lui donner un passage plus facile.

L'immersion, en faisant renfler le bois et en l'assouplissant, fait disparaître les fentes dont les lèvres se rapprochent, et elles ne se remontent

pas quand le bois est sec; mais le vice n'est pas détruit, attendu que la suture de la matière ligneuse n'a pas lieu.

Au surplus, l'opinion de Duhamel, qui doit être d'un grand poids dans cette question, est que ce procédé peut être utile pour la menuiserie qui a besoin de bois secs et faciles à travailler; mais qu'il ne l'est pas également pour les bois de charpente auxquels il faut ménager toute leur force. Ainsi, le mieux pour assurer la conservation des bois de charpente, c'est, comme faisaient probablement les anciens charpentiers, de les bien choisir et de les tenir sous des hangars, avec les précautions que nous avons décrites pour leur conservation.

Un Anglais est parvenu à sécher les bois verts en expulsant leur sève au moyen d'une condensation qu'il leur fait éprouver entre les cylindres d'une forte presse. Ce procédé augmente sans doute la dureté du bois et le rend moins accessible à l'humidité, par l'effet du rapprochement de ses fibres; mais leur force doit être altérée par l'action des cylindres; au surplus, il n'est encore applicable qu'à des bois de peu d'épaisseur.

Un autre Anglais, M. Langton, a fait des essais nouveaux sur la dessiccation des bois par la chaleur, qui ont eu du succès; il emploie des cylindres ou tubes qui servent de fourreaux dans lesquels les bois sont enfoncés; la chaleur leur est appliquée, au moyen d'un bain d'eau bouillante, dans lequel les cylindres sont plongés. La température est ainsi transmise au bois d'une manière uniforme, sans contact avec l'eau. La sève, réduite en vapeur, est conduite au dehors du cylindre dans un condensateur par des tuyaux qui communiquent avec les couvercles des cylindres et qui sont environnés d'eau froide. Dès que la liqueur qui résulte de cette sorte de distillation cesse de couler, l'opération est terminée. Ce procédé, quelque bon qu'il paraisse être, et tous ceux relatifs aux préparations qu'on prétend faire subir aux bois pour leur conservation, exigent des appareils qui en rendent l'application à la charpenterie à peu près impossible, au moins beaucoup trop dispendieuse.

La condensation produite par la chaleur augmentant la dureté du bois, on avait pensé qu'en en charbonnant la superficie on le garantirait de la pourriture, soit à cause du durcissement de la surface, soit par l'effet de quelque propriété du charbon. C'est de là qu'est venu l'usage de charbonner la partie d'une pièce de bois qui doit être enterrée; mais il résulte des expériences de Duhamel et de celles journellement renouvelées, que la carbonisation, qui n'est pas généralement praticable pour les gros bois ni pour ceux employés d'une manière apparente, ne retarde point, ou très-peu

la pourriture. Nous ajouterons que la carbonisation ne peut avoir d'autre avantage que d'empêcher le contact immédiat de la terre humide avec le bois non charbonné, et qu'elle a l'inconvénient de détruire une épaisseur de bon bois qui exigerait beaucoup de temps pour être pourrie dans la terre. Au lieu de carboniser les bois qu'on veut enterrer, il vaut mieux les laisser intacts et les environner de matériaux non conducteurs de l'humidité, tels que du sable et des cailloux siliceux, des scories de forge et de verrerie, qui laissent écouler rapidement l'eau tombée sur le sol et qui pourrait s'insinuer le long de leurs surfaces, presque toujours situées verticalement.

§ 3. Peintures et enduits.

On a usé de divers moyens de conservation pour les bois mis en œuvre. Les enduits de brai, de vernis, de mastics et de diverses peintures sur leurs surfaces, préviennent le retour de l'humidité dans leurs pores, et peuvent repousser pendant quelque temps les insectes qui tentent d'y déposer leurs œufs : mais ils ne sont pas toujours sans inconvénients.

Le brai est un mélange de goudron liquide, de brai sec ou poix, et de quelques matières grasses, telles que les suifs ; il est peu coûteux et convient pour les grès ouvrages exposés à toutes les injures du temps. Ce mélange est fait sur le feu dans une chaudière en fer ; on l'applique bouillant avec une grosse brosse : pour qu'il remplisse son objet, il faut que les bois qu'on en veut enduire soient parfaitement secs ; s'ils sont encore verts, au lieu de les conserver, le brai hâte leur destruction, parce qu'il renferme la sève et l'empêche de s'évaporer ; sa couleur obscure, en favorisant un plus grand développement de la chaleur causée par l'action du soleil, contribue à un échauffement qui réduit rapidement le bois en poussière.

L'usage du brai dans les grandes constructions exige la plus minutieuse et la plus prévoyante prudence, afin d'éviter les incendies pendant qu'on applique cette matière qui est excessivement inflammable, vu l'essence qu'elle contient. Le pont de Dax sur l'Adour fut entièrement brûlé en 1822, immédiatement après son achèvement et lorsqu'on finissait de le brayer, malgré toutes les précautions qu'on avait prises. On avait eu l'attention d'en écarter le plus possible le ponton sur lequel on préparait le brai, et de l'amarrer sous le vent du pont ; le feu ayant pris par accident au mélange, et le vent ayant changé tout à coup de direction, les grandes flammes qui s'élevaient de la chaudière furent poussées sur une

des palées, l'incendie s'étendit avec une rapidité prodigieuse à tout le pont qui était en bois de pin, sans qu'il fût possible de l'arrêter; en peu de temps tout fut consumé.

Les vernis ne sont en usage que pour les petits objets; les mastics ne s'appliquent, comme le goudron, qu'aux ouvrages extérieurs. Un des plus faciles à employer est celui connu sous le nom de *peinture au sable*; il convient pour les bois exposés à toutes les intempéries des saisons. On applique sur le bois une première couche d'une grossière peinture à l'huile; la plus commune suffit, et sa couleur importe peu. Lorsque cette première couche est toute fraîche, on la saupoudre, soit au tamis, soit à la main, avec du sable fin d'un grain bien égal. Lorsqu'elle est parfaitement sèche, on balaye avec une brosse rude tout le sable qui n'adhère pas à la peinture, et l'on applique sur celui qui y est solidement attaché une seconde couche de la même peinture à l'huile, que l'on saupoudre avec du sable de la même espèce que celui de la première couche. Après que cette seconde couche est sablée, séchée et balayée comme la première, on met une troisième couche de peinture que l'on saupoudre et que l'on traite de la même manière. Le nombre des couches dépend de l'épaisseur qu'on veut donner à ce mastic; le tout doit être recouvert d'une bonne et abondante peinture à l'huile de la couleur qu'on veut conserver à l'objet. Il ne faut employer que du sable siliceux bien lavé et parfaitement sec; on le fait même sécher sur des tables de fonte ou des feuilles de tôle. Le sable humide ne se colle pas à la peinture, et les sables calcaires ou terreux, le ciment et les cendres, font de mauvais enduits, à cause de leur avidité pour l'eau qu'ils attirent et qui décompose le mastic.

Cette peinture est grenue et n'est pas belle; elle consomme beaucoup d'huile et exige pour son application plus de temps que la peinture ordinaire, à cause de la manutention du sable; lorsqu'elle est bien faite et appliquée avec soin, elle est d'une grande solidité; elle bouche les gerçures et les joints des assemblages. Il faut se garder de l'appliquer, comme tous les autres enduits, sur des bois verts ou imparfaitement secs, vu que l'humidité qu'elle renfermerait sans lui laisser aucune issue causerait infailliblement la pourriture du bois.

La peinture à l'huile faite avec de bonne huile bien dégraissée et des matières insolubles dans l'eau et bien broyées, est l'enduit qui convient le mieux pour les ouvrages de charpente, qu'il ne faut point charger du poids d'un mastic, et dont il ne convient point d'altérer les formes. On peut donner à cette peinture telle couleur qu'on veut; on l'assortit ordi-

nairement à la destination des constructions sur lesquelles on l'applique. La peinture vert-clair est employée pour les objets d'agrément et de décoration à l'extérieur; elle est la plus chère et la plus solide. Les couleurs olive, brun-rouge et jaune, conviennent pour les grosses constructions extérieures; on doit en donner de nouvelles couches dès que celles qui ont été appliquées les premières se gercent et se détériorent; ce soin est un des meilleurs moyens de conservation des bois mis en œuvre.

La couleur qui approche de celle du bois et qu'on teint d'une teinte un peu claire, convient pour les constructions intérieures, telles que les charpentes des combles; elle convient aussi pour les ponts. Lorsque les ferrures sont peintes en noir ou en gris-bleu foncé, il en résulte un bon effet pour la vue.

Pour que la peinture à l'huile atteigne le but de la conservation des charpentes, il faut, comme nous l'avons déjà dit, que les bois aient été planés et polis, afin que les couches de peinture les couvrent entièrement, qu'elles s'étendent également partout et qu'on en consomme moins. Il faut aussi que les bois soient secs avant qu'on les applique; il convient même de laisser ces charpentes recevoir l'action de l'air pendant quelque temps, pour les sécher parfaitement avant d'y appliquer la peinture.

On est dans l'usage de ne peindre que les parties apparentes des constructions en bois; il serait utile de peindre également et d'avance, d'une couche au moins, toutes les parties intérieures des assemblages et toutes celles qui doivent être en contact, ou que la brosse du peintre ne peut atteindre quand la charpente est en place. Il arrive souvent que l'eau se fraie des issues à travers les petites dégradations inaperçues des couvertures et qu'elle tombe sur les charpentes; elle glisse, s'évapore et sèche promptement sur la peinture et sur les surfaces unies des bois; mais elle s'insinue dans les assemblages qu'elle atteint; elle y séjourne, pénètre le bois, s'y conserve dans les saisons humides et le pourrit. J'ai fait peindre intérieurement les assemblages dans diverses constructions de charpenterie et même de menuiserie; j'ai fait enduire de brai clair l'intérieur de divers assemblages de grosse charpenterie, j'en ai obtenu de bons résultats. Lorsque les assemblages sont bien faits, il ne reste de ces enduits, quand on met les bois en joint, que ce qu'il en faut pour coller pour ainsi dire leurs surfaces; mais ils remplissent les petits défauts que les outils ont laissés; ils tapissent les vides qu'on n'a pu éviter, et ils forment sur les joints de petits bourrelets qui ferment tout accès à l'eau. C'est sans doute une sujétion; mais elle a des avantages assez marqués pour qu'elle ne soit pas négligée. Il suffit de

donner au charpentier un pot de couleur et une brosse pour qu'il enduise tous les assemblages avant d'en opérer la réunion pour la dernière fois.

M. Bréant, vérificateur des monnaies, a présenté en 1831, à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, des pièces de bois de plusieurs décimètres d'équarrissage et de quelques mètres de longueur, imprégnées jusqu'au cœur d'une composition qui doit les préserver de toute détérioration quelconque. M. Bréant n'a point fait connaître sa préparation; on sait seulement que trois jours suffisent pour qu'elle pénètre dans les bois les plus gros. Il reste à vérifier, par l'expérience, le succès de ce moyen de conservation, et à reconnaître s'il ne rend point le bois trop difficile à travailler, s'il n'atténue pas sa force et son élasticité, s'il n'augmente pas sa pesanteur, et s'il n'altérerait point les formes et les dimensions des pièces qu'on serait forcé de lui soumettre toutes travaillées.

M. Kyan, distillateur à Londres, a proposé à la marine anglaise la dissolution du deutochlorure de mercure (sublimé corrossif) dans l'eau, pour préserver les bois de la carie sèche (1). Les pièces de bois sont maintenues en immersion dans un bassin en bois, par des traverses, pendant le temps nécessaire à leur saturation complète. Un équarrissage de 0^m,38 exige une immersion de quatorze jours; pour 0^m,19, dix jours; et pour 0^m,08, sept jours suffisent. Pour éprouver des bois ainsi préparés, on a rassemblé dans une fosse de l'arsenal de Woolwich des fragments de végétaux atteints de pourriture; on a plongé dans cette fosse les pièces de bois imprégnées de sublimé et en même temps un morceau de bois parfaitement sain qui n'avait point subi de préparation; au bout de trois ans et de cinq ans, les bois préparés suivant la méthode de M. Kyan ont été retirés parfaitement sains en dehors et en dedans. Un baleinier de 500 tonneaux a été construit entièrement avec des bois préparés au sublimé; les charpentiers qui ont construit ce navire et les hommes de son équipage n'ont point souffert de l'influence de cette substance (2).

(1) On sait depuis longtemps que la putréfaction des substances animales est arrêtée par cette substance.

(2) Académie roy. de méd. de Paris, mai 1835. *Mémorial encycl.*, juin 1835.

§ 4. *Préservatifs contre les animaux destructeurs des bois mis en œuvre.*

Les enduits qu'on a proposés pour préserver les bois de l'attaque des vers n'ont pas eu de succès; les peintures qui sont regardées comme conservatrices des charpentes et des boiseries, ne les garantissent point complètement de la piqure des insectes. Il faudrait pouvoir imprégner les bois de quelque matière vénéneuse, capable de tuer les larves dès leur naissance; mais, en outre qu'il serait très-difficile de faire pénétrer ce poison assez profondément pour que le dépôt des œufs ne puisse pas être fait en-dessous, son usage ne serait peut-être pas sans danger dans les habitations, et son application entraînerait des sujétions qui la rendraient très-dispendieuse. Un enduit assez dur pour ne pouvoir être percé, finit par s'altérer, se fendre et livrer passage aux insectes. Le meilleur moyen de mettre les constructions à l'abri de toute vermination, c'est de garantir les bois des détériorations qui amollissent la matière ligneuse, telles que l'échauffure, la carie et la pourriture, et de n'employer dans les travaux que des bois de la meilleure qualité et exempts de tout vice quelconque.

Les *termites*, dont nous avons parlé, chap. II, sont jusqu'à présent les seuls insectes qui attaquent les bois abattus ou mis en œuvre parfaitement sains. Heureusement leurs ravages ne se sont point étendus au dehors du port de Rochefort, soit parce qu'une autre température ou une autre atmosphère ne leur conviennent point, ou que, quoique ailés, ils ne puissent point émigrer à de grandes distances, soit qu'il y ait peu d'occasions de transport de bois de Rochefort sur des points qui présentent les mêmes circonstances, ou qu'enfin on se défie de tout ce qui pourrait contribuer à accroître le domaine d'un ennemi si dangereux.

Pour arrêter et prévenir les dégâts des termites, on ne connaît jusqu'à présent que la recherche et la destruction de leurs nids et de leurs galeries et l'emploi de la chaux et du fumier.

L'immersion des bois attaqués par les termites, dans l'eau douce ou l'eau salée, détruit ces insectes, mais ne prévient point leur retour.

A l'égard des tarets (1) et des pholades (2), qui percent les bois des ou-

(1) *Teredo navalis*.

(2) *Pholas*.

vrages stables baignés par l'eau de la mer, aussi bien que ceux des navires, et dont nous avons déjà parlé, on a tenté divers moyens pour en garantir les constructions. On a essayé, notamment contre le taret, de revêtir complètement les bois de clous en fer à larges têtes plates et carées; mais, malgré le soin qu'on peut apporter dans l'emploi de ce procédé, il reste encore quelques interstices entre les têtes des clous par lesquels les petits tarets parviennent à s'introduire dans les bois. A la vérité, le ravage est beaucoup plus lent, mais il n'est pas entièrement prévenu; d'ailleurs, avec le temps, la rouille ou des coups accidentels arrachent les clous et livrent passage aux tarets.

On a essayé aussi d'envelopper les pieux et autres bois des constructions maritimes avec des lattes goudronnées et clouées. Ce moyen est excellent, tant que les lattes ne perdent point leur goudron, ou qu'elles ne sont point arrachées; mais, dès que le goudron est usé ou dissous, et que les lattes sont détruites, le bois restant à découvert est attaqué par les tarets. On a enfin imprégné les bois de dissolutions propres à repousser les tarets; mais il ne paraît pas qu'on soit parvenu à trouver une matière nuisible à ces vers, et qui soit en même temps d'un emploi facile, susceptible de pénétrer le bois et insoluble dans l'eau de la mer.

Quelques marins enduisent la coque de leur navire d'un mastic repoussant pour les tarets; ils sont obligés de le garantir du frottement de l'eau par un doublage en bois léger; cette méthode, imitée de quelques peuplades sauvages, rend les bâtiments pesants et nuit à leur marche; elle ne peut être appliquée aux constructions stables, par les mêmes raisons qui ont fait renoncer aux revêtements en lattes goudronnées.

Ce qu'on connaît de meilleur pour la conservation des navires, c'est le doublage extérieur en feuilles métalliques très-minces que l'on attache avec des clous en cuivre sur les bordages jusqu'à la ligne de flottaison. Les tarets ne peuvent les percer. Le cuivre rouge est le métal dont on fait usage jusqu'à présent; on paraît lui préférer aujourd'hui le bronze.

On a essayé d'appliquer le doublage aux bois des constructions stables baignées par l'eau de la mer: on a revêtu des portes d'écluse avec des feuilles de cuivre; mais le succès n'a pas été aussi complet qu'on pouvait l'espérer, parce que les tarets s'introduisent sous le doublage par les plus petits joints et les moindres déchirures que divers accidents occasionnent.

Les tarets et les pholades ne résistent point à l'eau douce, qui paraît être pour eux le plus violent poison; ils périssent aussitôt qu'ils y sont immergés. Il n'en existe point dans les ports qui sont aux embouchures des

fleuves, et les bâtiments non doublés auxquels ces mollusques se sont attachés en sont délivrés aussitôt qu'ils sont en rivière.

Le meilleur moyen de garantir les constructions en bois baignées par la mer de l'attaque des tarets et des pholades, c'est de diriger sur ces constructions des courants d'eau douce abondants qui puissent constamment les atteindre et les laver. Malheureusement ce moyen n'est pas toujours praticable.

§ 5. *Précautions contre la combustibilité.*

Le feu a été regardé avec raison comme une des plus puissantes causes de destruction dont on devait chercher à préserver les charpees; mais on n'a malheureusement obtenu aucun succès réel des essais qui ont été faits. Hassenfratz fait remarquer que, si l'on considère combien de villages et de portions de villes considérables ont été la proie des flammes, on n'est pas étonné des tentatives qui ont été faites pour rendre les bois incombustibles, ni de l'ascendant que des succès imparfaits ont quelquefois donné au charlatanisme pour obtenir du gouvernement de l'argent destiné à faire des expériences qui ne prouvaient rien.

Les moyens proposés jusqu'ici sont : 1° d'imbiber les bois de diverses solutions salines; 2° de les couvrir de mastics épais et incombustibles; 3° de les envelopper de feuilles de métal.

Tous ces moyens exigent d'assez grands frais et n'atteignent que très-incomplètement le but.

Les bois imprégnés de dissolutions salines ont l'inconvénient d'attirer et de retenir l'humidité. Ils ne résistent qu'aux premières atteintes de la flamme; lorsque la température augmente, l'eau des sels est vaporisée, les sels décrépitent et laissent le bois en proie à l'incendie.

Il en est à peu près de même des mastics dont on enveloppe les bois. Ils ne les garantissent que pendant le premier moment; s'ils ne se fendent point et ne se détachent point lorsque la chaleur est violente, ils réduisent le bois en charbon, et le mal est à peu près le même.

Les enduits en plâtre des plafonds unis et des cloisons qu'on fait aujourd'hui ont dans plus d'une circonstance retardé les progrès du feu et donné le temps de porter d'utiles secours, parce qu'ils présentent aux flammes des surfaces sur lesquelles elles ont peu de prise. Ces enduits

ont l'avantage, sur beaucoup d'autres, qu'on a proposés, de ne point augmenter la dépense, puisqu'ils font déjà partie de la bâtisse.

Les enveloppes métalliques, lorsqu'elles sont infusibles aux premières atteintes de la chaleur, ferment mieux que les enduits toutes les issues à l'air qui exciterait la combustion; mais elles acquièrent rapidement une vive chaleur qui, soutenue pendant quelque temps, carbonise le bois qu'elles renferment; ainsi, la grande dépense que les enveloppes métalliques occasionnent n'atteint point le but. On ne doit donc compter sur l'efficacité d'aucun procédé pour rendre le bois réellement incombustible.

CHAPITRE VII.

DES BOIS PROPRES AUX CONSTRUCTIONS EN CHARPENTE.

Les arbres dont les tiges sont les plus élevées, les plus grosses, les plus égales et les plus droites, dont le bois est le plus homogène et le plus ferme, sans résister trop aux tranchants des outils, qui est le plus fort et le moins pesant, sont les plus propres aux constructions; ils appartiennent aux espèces qui garnissent le plus abondamment nos forêts de France et même celles de l'Europe et qui sont en conséquence les plus communes en même temps qu'elles ont les qualités les plus essentielles que l'art de la charpenterie requiert.

La nature du sol sur lequel les arbres croissent influe essentiellement sur leurs qualités comme bois de charpente. En général, les bons terrains secs et les climats chauds produisent les arbres qui sont en même temps les plus beaux et du meilleur bois. Les chênes du midi de la France, par exemple, sont préférables par leur taille et les qualités de leur bois pour les travaux de charpenterie à ceux du centre, et ceux-ci sont meilleurs que les chênes produits par les sols humides et froids des provinces du nord; mais on n'est pas toujours à même de donner la préférence à telle ou telle espèce de bois, ou à ceux qui ont crû dans une contrée plutôt que dans une autre, et dans une nature de terrain plutôt que dans une autre. La marine seule a les moyens de faire transporter des bois des lieux où ils sont reconnus les meilleurs pour son usage, et elle peut exiger de ses adjudicataires qu'ils ne lui livrent que des bois provenant de contrées spécifiées; mais le commerce qui fournit la charpenterie civile confond ordinairement tous les bois de même espèce sans distinction d'origine, et l'on est forcé, la plupart du temps, de faire usage de ceux que fournissent les localités où l'on construit. Tout ce qu'on peut faire alors, c'est de choisir les pièces qui réunissent le mieux possible les qualités propres à la charpenterie.

Dans la plupart des espèces, les arbres dont les tiges fournissent les pièces de bois les plus longues et les plus saines sont ceux qui ont crû dans les forêts dites futaies, qui sont le produit du balivage et surtout des semis et des plans très-jeunes, et qu'on n'a point mutilés.

Les arbres dits d'alignement ou plantés suivant d'autres dispositions, mais dont on a voulu faire un objet de décoration ou d'agrément, ne fournissent

que bien rarement de belles pièces de charpente, d'abord parce qu'ils ne s'élevaient pas aussi rapidement ni aussi haut que ceux qui poussent serrés ensemble et qui forment d'épaisses forêts; et parce qu'on les a mutilés par la pernicieuse méthode qu'on a presque généralement d'étêter les sujets qu'on plante et de retrancher une partie de leurs racines, sous prétexte de hâter et d'assurer leur reprise, de soustraire leurs sommités aux efforts des vents et pour jouir plus tôt de l'épaisseur de leur feuillage. Il résulte de l'étêtement des jeunes arbres qu'on limite la hauteur de leur tronc fort au-dessous de celle à laquelle la nature leur a donné la puissance de s'élever et qu'on a, par conséquent, des sujets qui poussent plus en branchages qu'en tige, et qui viennent difformes ou vicieux intérieurement.

Les branches d'un jeune arbre étêté, en poussant autour de la coupe d'étêtement, rassemblent sur la cicatrice toujours mal fermée les eaux de pluie, qui s'introduisent dans le cœur et le pourrissent. Lorsqu'on ne laisse pousser qu'une seule branche sur la coupe d'étêtement, cette branche acquiert assez promptement la grosseur du tronc et paraît se confondre avec lui; mais il se forme à son collet un nœud de contraction et de contour des fibres qui devient un vice de texture dans la pièce de charpente qu'on équarrit; enfin, si la coupe d'étêtement est recouverte par le jeune bois, elle forme dans l'intérieur de l'arbre un nœud de bois mort qui le vicie.

Des expériences que j'ai eu occasion de faire m'ont prouvé que les arbres, même les ormes, plantés sans être étêtés ni élagués à leurs sommités ni dans leurs racines, reprennent mieux et plus vite, forment leurs têtes beaucoup plus haut, poussent des branches plus vigoureuses et plus nombreuses, se couvrent d'un plus beau feuillage et acquièrent enfin plus de force et d'élévation, que ceux de même espèce, des mêmes pépinières et de même âge étêtés et plantés en même temps et dans les mêmes circonstances.

Il faut, à la vérité, les protéger quelquefois par de hauts tuteurs, en mettre jusqu'à trois autour d'un même sujet; mais on est bien dédommagé de ce soin par la beauté des tiges.

Depuis une centaine d'années, on a introduit en France et sur différents points de l'Europe une assez grande quantité d'arbres exotiques, sous prétexte de leur utilité pour les constructions. Hassenfratz a donné dans son ouvrage (1) un catalogue de 167 arbres acclimatés en France, et qui

(1) *Traité de charpenterie*, 1804.

peuvent être employés dans la charpente. Quelques-unes des espèces nouvelles s'y trouvent comprises; mais elles ne sont pas encore assez multipliées dans nos plantations pour qu'on puisse les ranger dans le domaine actuel de la charpenterie. Il s'en faut aussi de beaucoup que tous les arbres indigènes qui sont mentionnés dans ce catalogue soient propres aux constructions. Nous indiquons, dans le tableau suivant, ceux que les charpentiers sont réellement dans le cas de travailler en France. Nous les répartissons en quatre classes.

La première classe contient les bois durs, parmi lesquels le chêne est par excellence le bois de la charpenterie. Cet arbre réunit à de belles dimensions, la bonne qualité de son bois et une longue durée. Les autres espèces comprises dans la même classe ne sont employées que subsidiairement lorsque le chêne manque ou lorsqu'il ne s'agit que de constructions peu importantes.

La deuxième classe comprend les bois résineux; elle ne le cède point à la première, lorsqu'il s'agit de joindre la légèreté et l'élasticité à de très-grandes longueurs. Dans quelques contrées, plusieurs arbres de cette classe sont les seuls dont la charpenterie puisse disposer, ceux de la première classe, notamment le chêne, étant réservés vu leur rareté aux travaux les plus importants de la menuiserie.

La troisième classe comprend les bois blancs et mous; la plupart se plaisent dans des lieux aquatiques ou seulement humides et dédommagent pour ainsi dire de leur mauvaise qualité et de leur courte durée par la rapidité de leur croissance et la facilité de les travailler.

Dans la quatrième classe sont rangés les bois fins, c'est-à-dire ceux dont les fibres sont fines et serrées, qu'on pourrait compter parmi les bois précieux à cause de la beauté de leur tissu; mais qui, pour la plupart, ne parviennent qu'à de médiocres dimensions, et ne sont employés qu'en petits volumes dans la menuiserie et la marqueterie, dans la charpenterie des machines ou pour la construction des fûts et manches d'outils et dans l'art du tourneur.

Les nombres qui sont inscrits dans les trois premières colonnes de ce tableau sont les limites les plus ordinaires des dimensions des arbres et de la partie de leur tige utile aux charpentiers; les nombres des deux colonnes suivantes donnent par approximation les moyennes des dimensions de leurs accroissements annuels. Dans les articles relatifs à chaque espèce d'arbre en particulier, nous citerons les cas extraordinaires qui ont été observés et qui peuvent être regardés comme les limites d'âge et de dimensions auxquels chaque espèce peut parvenir.

CATALOGUE

Des arbres employés dans l'art de la charpenterie.

NOMS DES ARBRES.	HAUTEURS		CROISSANCES ANNUELLES			TERRAINS dans lesquels ils se plaisent le mieux.	PESAN- TEURS spécifi- ques.
	totales.	des tiges.	en circon- férence	en diamè- tre.	en hau- teur.		
I. Bois durs.	mètres.	mètres.	millim.	millim.	centim.		(1)
1. Chêne	5 à 40	5 à 15	17	5	30	Tout terrain	905,1
2. Châtaignier	5-40	5-15	16	5	»	Idem	685,1
3. Orme	5-40	5-15	23	7	»	Marneux	700,3
4. Noyer	8-15	2-5	28	9	30	Tout terrain, profond, riche, gras et ferme	656,2
5. Hêtre	15-40	6-16	20	6	»	Gras humide	720,4
6. Frêne	15-40	5-15	30	9	36	Humide	787,3
II. Bois résineux.							
7. Pin	15-40	5-30	17	5	54	Sablonneux, élevé	569,7
8. Sapin	14-40	8-30	20	6	57	Idem	486,6
9. Mélèze	15-40	8-30	19	6	»	Tous les terrains élevés ou marécageux ni argileux	656,0
10. Cèdre	15-40	12-40	29	12	65	Sablonneux, élevé	603,2
11. Cyprès	8-15	4-10	11	3	59	Sec, élevé, chaud	655,5
12. If	3-15	2-6	8	2	»	Tout terrain	778,1
III. Bois blancs.							
13. Peuplier	15-40	6-20	36	18	135	Gras, humide	620,8
14. Tremble	15-40	5-15	14	4	»	Idem	526,9
15. Aune	15-40	5-15	19	6	97	Humide, marécageux	654,9
16. Bouleau	15-40	5-15	21	7	65	Pierreux	701,9
17. Charme	8-15	3-7	17	5	41	Froid, aride	759,8
18. Erable	15-40	5-15	20	6	»	Maigre	755,0
19. Tilleul	15-40	5-15	27	8	32	Humide, sableux	549,2
20. Platane d'Orient	15-40	5-15	35	11	»	Sec	537,9
21. Saule	15-40	5-15	59	19	»	Humide, marécageux	448,8
22. Acacia	8-15	4-8	32	10	»	Léger, profond, sec	676,2
23. Laurier	8-15	2-6	19	6	»	Léger, exposition chaude	695,0
24. Myrionnier d'Inde	15-40	4-15	37	12	»	Sableux, marneux	657,0
IV. Bois fins.							
25. Sorbier	15-40	4-12	»	»	»	Humide, froid	910,4
26. Poirier	8-15	3-7	6	2	»	Toute bonne terre	705,7
27. Pommier	8-15	2-6	22	7	»	Idem	735,7
28. Ailier	8-15	4-6	»	»	»	Fort, argileux	879,1
29. Nèflier	6-10	3-5	»	»	»	Tout terrain	»
30. Merisier	8-15	7-8	19	6	»	Sableux frais	714,3
31. Prunier	8-15	2-6	18	5	»	Toute bonne terre	761,9
32. Cornouiller	6-8	»	»	»	»	»	»
33. Arbusier	6-8	»	»	»	»	Tout bon terrain sableux	»
34. Buis	8-15	3-7	»	»	»	Sec, exposition chaude	919,0

(1) Les nombres inscrits dans cette colonne supposent que la densité de l'eau est exprimée par le nombre 1000. Le décimètre cube en litre d'eau pèse 1 kilogramme.

Les arbres compris dans notre tableau ne sont point employés exclusivement par la charpenterie et la menuiserie. Après qu'on a fait réserve des parties qui conviennent aux constructions, soit pour en former de grosses pièces d'équarrissage droites ou courbes et des bois débités ou de brin, utiles à la bâtisse, d'autres arts choisissent les bois qui sont les plus propres aux objets qu'ils confectionnent, et parmi ceux qui leur sont le plus utiles, les plus forts se trouvent appartenir à des espèces que les charpentiers et les menuisiers recherchent le moins.

C'est ainsi que l'orme et le frêne, qui n'entrent que très-rarement et accidentellement dans la composition des charpentes, sont préférés à cause de la ténacité de leurs fibres par les charrons, qui emploient aussi le bouleau et le charme.

L'aune, l'orme et le charme, peu corruptibles, sont choisis par les fontainiers et les pompiers pour en faire des tuyaux et des corps de pompe.

La tonnellerie emploie de préférence le chêne, qui est imperméable. On le fend à la forêt tout frais abattu, en merrains, douvains et traversins pour faire les douves et les fonds des tonneaux. Les tonneliers font des futailles communes avec du sapin et du bois blanc, que le commerce leur fournit en planches.

On fend aussi à la forêt des billes de chêne de fil droit, sans nœuds et fraîchement coupé pour faire le bardeau qui sert à couvrir des bâtiments, des échales pour la culture de la vigne, ceux pour la confection du treillage des jardins; des lattes et voliges pour les couvertures en tuiles et en ardoises, celles pour les plafonds et cloisons en plâtre, et enfin des gournables ou chevilles pour la marine.

Le hêtre et le chêne servent concurremment aux ouvrages de boissellerie; on les fend à la forêt tout frais abattus en feuilles minces ou *éclisses*, pour les *cercher* que l'on roule et pour les *enfonçures*.

Le tremble, le hêtre, à peu près inutiles à la charpenterie, sont débités et travaillés tout verts pour faire des ustensiles de ménage, des objets de *raclerie* et des sabots.

Les jeunes hêtres sont fendus pour faire des bois à rames ou les débiter en copeaux pour les gainiers.

Les cercles de tonnellerie sont fabriqués avec les pousses de sept à huit ans fraîches coupées et fendues; on préfère le châtaignier, le frêne, le chêne, le bouleau et le saule, qu'on exploite à cet effet en taillis. On tire des mêmes bois des manches de brin pour les outils aratoires, et les

différents bâtons et perches compris dans l'exploitation des bois sous la dénomination de *bois de piques*.

Les manches des outils tranchants par percussion sont pris de préférence dans du frêne de fente, afin qu'ils soient de fil, sans nœuds et plus résistants. La plupart des manches et fûts des autres outils sont faits en bois de la quatrième classe.

Les tourneurs en bois tendre choisissent l'aune pour faire des échelles, des chaises communes et d'autres objets légers.

Le tourneur-chaisier emploie le cerisier, le merisier, le noyer, le frêne, le jeune chêne et même le hêtre.

La charpenterie des machines emploie ordinairement les bois les plus durs de la quatrième classe pour les parties qui transmettent le mouvement par leur contact.

Quelques-uns des bois de cette même classe servent à faire des règles, des équerres, des manches et des fûts d'outils; presque tous, ainsi que le noyer, l'if, l'érable et le charme sont travaillés par les tourneurs tabletiers et par les menuisiers-ébénistes pour la décoration des meubles plaqués et marquetés, concurrence avec les bois exotiques.

Les naturalistes ont adopté, pour étudier et classer les plantes, des caractères scientifiques qui étaient indispensables pour qu'on pût les reconnaître au milieu des innombrables productions du règne végétal. Mais pour ce qui regarde le petit nombre des arbres utiles aux travaux de construction, les charpentiers doivent les reconnaître sur pied à la première inspection, sans être obligés de faire un examen minutieux de leurs caractères botaniques. Il nous a paru suffisant de leur indiquer les signes vulgaires qui distinguent les espèces différentes.

Quant aux bois abattus et dépouillés de toute marque extérieure de la végétation, en travaillant ceux dont on fait le plus fréquent usage dans un pays, les ouvriers deviennent habiles à les reconnaître; mais cela ne suffit pas. Il est indispensable qu'ils soient également familiers avec toutes les espèces qu'ils sont dans le cas d'employer, qu'ils sachent les distinguer et apprécier leurs qualités ou leurs défauts et leur état de conservation.

Les bois ont des apparences différentes, suivant qu'ils sont bruts, simplement fendus par éclatement ou qu'ils sont dressés et corroyés avec le rabot, et, dans l'un et l'autre état, selon qu'ils sont débités et travaillés sur leurs cercles annuels ou sur leurs mailles; ils diffèrent encore entre eux par le mode de rupture de leurs fibres.

Des descriptions écrites, quelque précises qu'elles puissent être, ne peu-

vent pas suffire pour faire distinguer tous les bois sans exception les uns des autres. Il en est sans doute dont l'aspect est si remarquable qu'il est impossible de les confondre avec d'autres, mais il y en a plusieurs espèces fort différentes d'ailleurs, qui ont l'apparence d'une même contexture et pour lesquelles on est sujet à se tromper aisément, ce qui peut avoir d'assez graves inconvénients, vu que, malgré cette similitude, les qualités de résistance et de durée peuvent n'être pas les mêmes.

Le meilleur moyen d'acquérir une connaissance certaine des bois, limitée même aux espèces utiles au charpentier, c'est d'examiner sous les différents aspects que nous venons d'indiquer les pièces que l'on travaille ou des échantillons exactement spécifiés par des étiquettes ou par des praticiens habiles.

Par les divers motifs qui précèdent, les descriptions que nous allons donner, tant des arbres sur pied que de leurs bois, ne comprennent que les indications les plus distinctes auxquelles nous avons joint les faits les plus intéressants qui se rapportent à chaque espèce.

I. BOIS DURS.

§ 1. Du chêne.

Le chêne est le plus grand, le plus robuste et le plus utile de tous nos arbres; on ne le trouve ni dans la zone torride, ni dans les zones glacées, ni sur les montagnes où la température est presque égale à celle des pôles. Quoiqu'il se plaise dans toutes les régions tempérées, l'Europe paraît être sa véritable patrie, et le climat de la France lui a toujours été favorable.

Le chêne présente un grand nombre d'espèces, la plupart ne se trouvent point en France; mais l'art de la charpenterie n'a rien à regretter chez nous : nos chênes sont préférables à tous ceux des autres pays pour ses travaux.

Les espèces les plus communes et les plus utiles en France sont le *chêne rouvre* (1) et le *chêne à grappes* (2).

Le chêne est le roi de nos forêts, dont il fait le plus bel ornement; son nom latin annonce sa force et sa vigueur.

(1) *Quercus robur*.

(2) *Quercus racemosa*.

Il fournit les plus beaux et les meilleurs bois de charpente, notamment celui à grappes, qui est le plus grand d'Europe.

La feuille du chêne est remarquable par les échancrures arrondies de son contour; son fruit, nommé gland, est simple et oblong; porté dans une cupule (petite coupe) qui en couvre une partie.

Le bois de chêne est jaune, légèrement brun, d'une teinte uniforme; il devient gris et même noir par l'effet d'une très-longue exposition à l'air. Il a souvent un aubier très-épais, facile à distinguer, dont il faut le dépouiller. Les anciens statuts des ouvriers leur défendaient d'employer l'aubier du chêne, et leur prescrivaient d'en nettoyer le bois avant de le mettre en œuvre.

Les fibres du bois de chêne sont ordinairement droites et serrées; elles sont çà et là séparées par de très-petits canaux interrompus. Le chêne, fendu de la circonférence au cœur, présente de larges plaques brillantes et satinées qui résultent du partage de ses mailles.

Le chêne est le plus dur et le plus solide des bois d'Europe; on a la certitude que des charpentes de chêne ont duré plus de six cents ans. Dans l'eau il acquiert à la longue une excessive dureté et devient impérissable. Quoiqu'il n'atteigne point la hauteur de certaines espèces de pins et de palmiers, et que sa tige n'acquière point un diamètre égal à celui du baobab dont nous avons parlé (1), il peut parvenir à de très-fortes dimensions. On en cite dont le tronc avait plus de 9^m,70 de circonférence, et qui s'élevait à 45 mètres. Pline fait mention d'une yeuse que l'on voyait de son temps près de Tusculum, qui avait 11 mètres de tour et qui donnait naissance à dix branches principales qui équivalaient chacune à un gros arbre. M. Secondat (2) dit en avoir vu un qui avait 10^m,35 de tour à la hauteur des bras d'un homme, et dont le tronc, de 3^m,90 de hauteur, se partageait ensuite en trois grosses branches. Charles I^{er}, roi d'Angleterre, a fait employer dans la construction d'un vaisseau quatre poutres de 14 mètres de long sur 1^m,54 de grosseur, provenant d'un même chêne.

Le chêne croît très-lentement; à cent ans, il n'a le plus souvent pas plus de 0^m,325 de diamètre. C'est jusqu'à quarante ans qu'il grossit le plus promptement; passé cet âge, son accroissement est moins sensible et pa-

(1) Chapitre II.

(2) Mémoire sur l'histoire naturelle du chêne.

rait se ralentir de plus en plus. Les chênes vivent communément plusieurs siècles, ils sont dans leur plus grande vigueur à deux et trois cents ans; le plus souvent, la hache les moissonne bien avant le terme de leur existence ou de leur retour et même de leur croissance. Si l'on calcule l'âge auquel le chêne peut parvenir d'après la grosseur des plus forts qu'on ait observés, on trouve qu'un chêne peut vivre douze cents ans et plus. Pline (1) rapporte qu'il y avait sur le Vatican une yeuse plus ancienne que Rome.

Le *chêne yeuse* (2), nommé aussi chêne vert parce qu'il ne perd point ses feuilles pendant l'hiver, croît dans les parties méridionales de l'Europe, et en France jusqu'à la Loire; il est ordinairement tortueux, et par conséquent peu propre aux constructions des charpentes; son bois d'ailleurs est dur et compact et trop pesant, alors on l'emploie dans les machines, on en fait des essieux et des poulies. Il a une très-longue durée.

Le *chêne liège* (3), dont l'écorce fournit la matière des bouchons, ne doit être employé que dans les constructions où il doit être à l'abri des alternatives de sécheresse et d'humidité, qui le font pourrir très-rapidement. Il faut éviter aussi de le mettre en contact avec des ferrures dans des lieux humides, attendu que l'eau en extrait une liqueur qui rouille et détruit en peu de temps les clous et les boulons.

Le *chêne des Pyrénées* croît dans la partie occidentale de la France, depuis les montagnes jusqu'à la Loire; on le connaît dans les Landes sous les noms de *chêne noir*, *tauzin* et *tausa*; au pays basque, sous celui d'*amenza* ou d'*ametça*, et dans les environs de Nantes ou d'Angers, on le nomme *chêne doux*. Il a beaucoup plus d'aubier que les autres espèces de France; son bois se tourmente beaucoup, à moins qu'on ne le laisse sécher cinq ou six ans dans son écorce, mais alors il est à craindre que les vers qui se logent dans son aubier l'attaquent même jusqu'au cœur, ou qu'il devienne si coriace qu'il soit fort difficile de le travailler, et qu'il casse les outils. Il a beaucoup de nœuds et se fend mal de droit fil. C'est un mauvais bois pour la charpenterie.

Le *chêne chevelu* (4) est un très-bel arbre qui atteint une hauteur et une

(1) Liv. XVI, chap. xli.

(2) *Quercus ilex*.

(3) *Quercus suber*.

(4) *Quercus cerris*.

grosseur égales à celles des plus grandes espèces. Il croît en Italie, en Espagne et dans plusieurs provinces de France, comme la Provence, la Franche-Comté, le Poitou. Son bois est d'une excellente qualité.

Le *chêne de Hollande*, comme tous ceux venus dans des terrains fertiles et humides, a les fibres très-droites; il est mou, gras et facile à couper; il est principalement travaillé par les menuisiers.

Le bois de chêne est employé dans une foule d'arts. En grosses pièces, il convient essentiellement à la charpenterie; débité en planches, mardiers et lambourdes, il sert aux diverses branches de la menuiserie et même au charronnage; débité par la fente à la forêt, il fournit les douves, les bardeaux, les lattes, etc.

§ 2. Du châtaignier.

La feuille du châtaignier (1) est longue de 0^m,13 à 0^m,19, large de 40 à 55 millimètres, bordée de grandes dents aiguës; elle est d'un beau vert; ses fleurs sont en chatons aussi longs que ses feuilles; ses fruits sont contenus dans une enveloppe sphérique épineuse. Deux variétés de cet arbre croissent en Europe: l'une produit les châtaignes communes, qui sont un peu aplaties parce qu'elles naissent deux ou trois dans la même enveloppe; l'autre variété produit les marrons qui sont plus gros, presque entièrement ronds, parce qu'ils viennent isolément.

Le châtaignier aux cent chevaux. Les châtaigniers occupent un des premiers rangs parmi les arbres forestiers. Ils parviennent quelquefois à des grosseurs prodigieuses. Il en existe un sur le mont Etna qui surpasse en grosseur les baobabs d'Afrique. Jean Hovel (2) lui donne 52 mètres de circonférence. On l'appelle le châtaignier aux cent chevaux, parce que Jeanne d'Aragon allant d'Espagne à Naples, s'étant arrêtée en Sicile, vint visiter l'Etna, et qu'elle se mit à l'abri d'une pluie d'orage sous le gros châtaignier avec sa suite, composée de toute la noblesse de Catane, qui était comme elle à cheval. Cet arbre est entièrement creux, il ne subsiste plus que par son écorce. Quelques personnes avaient cru qu'il était formé de la réunion de plusieurs châtaigniers poussés les uns à côté des autres,

(1) Castanea.

(2) Voyage aux îles de Sicile en 1776.

qui se seraient soudés et n'auraient conservé leur écorce qu'en dehors; mais un examen scrupuleux a prouvé que c'est un seul arbre. On trouve d'ailleurs dans les environs plusieurs arbres de même espèce qui ont de 12 mètres jusqu'à 24 mètres de tour. On évalue de 3600 à 4000 ans l'âge du châtaignier aux cent chevaux. M. Loiseleur de Longchamps pense qu'il est probablement beaucoup plus vieux.

Le plus gros châtaignier que l'on connaisse en France paraît être celui qui existe près de Sancerre, département du Cher. Il y a six cents ans qu'il était déjà connu sous le nom du gros châtaignier. On lui suppose un âge de mille ans. Il a 9^m,75 de circonférence à hauteur d'homme; il produit une immense quantité de fruit chaque année.

Une opinion fort accréditée, c'est qu'un grand nombre des plus anciennes charpentes sont en châtaignier, et que c'est aux qualités de ce bois qu'elles doivent leur belle conservation. Daubenton a prouvé que le prétendu châtaignier des anciennes charpentes n'est qu'une variété d'un chêne blanc peu cultivé aujourd'hui en France. Le bois de ces charpentes paraît n'avoir éprouvé qu'une altération presque insensible. Les insectes qui se multiplient ordinairement dans les habitations s'en sont écartés. On doit présumer que cette qualité de chêne est très-supérieure à celle dont on fait usage maintenant; il est donc fort à regretter que sa culture ait été abandonnée.

Le châtaignier est employé pour les constructions dans les contrées où il est abondant et lorsque ses dimensions permettent d'en tirer des bois de charpente. On le cultive en taillis pour en tirer, comme nous l'avons déjà dit, des cercles, des échelas et des manches. On prétend qu'il a été plus commun en France qu'il ne l'est aujourd'hui; cette opinion est probablement une conséquence de celle qu'on avait au sujet des anciennes charpentes. On ne trouve le châtaignier des forêts que dans les Vosges, le Jura, près de Lyon, dans les Pyrénées, les Cévennes, le Limousin, le Périgord et sur quelques collines sablonneuses des environs de Paris.

Le bois du châtaignier a quelque ressemblance avec celui du chêne, qu'on a pu confondre avec lui; sa construction fibreuse tient le milieu entre celles du chêne et de l'orme.

Ce qui doit confirmer qu'il y a beaucoup moins de charpentes anciennes en châtaignier qu'on ne l'a pensé, c'est que ce bois est sujet à la vermoulture intérieure, sans que l'extérieur donne signe de cette funeste destruction, et que probablement il n'aurait pas résisté dans les charpentes aussi longtemps que le chêne. Lorsque les vers ne l'attaquent point, il devient dur et

cassant en vieillissant; il est certainement fort inférieur à son ancienne réputation, qu'il n'a due qu'à une erreur. On peut néanmoins l'employer à l'âge de vingt-cinq ans pour pieux et autres constructions qui sont constamment dans l'eau; il s'y conserve très-bien, les vers ne le piquent point, et il acquiert, comme le chêne, une grande dureté. On en fait des tuyaux de conduite qui sont d'une longue durée; le bardeau de châtaignier, qui se fend assez aisément, est, dit-on, supérieur à celui de plusieurs espèces de chêne. Il ne paraît pas qu'on fasse usage du châtaignier pour le charronnage ni pour les constructions navales.

§ 3. De l'orme.

L'orme (1) est un grand arbre qui croît dans les forêts d'Europe; lorsqu'il est jeune on le nomme quelquefois *ormeau*. Son écorce est raboteuse et obscure, ses feuilles ovales et dentelées sont d'un vert foncé; ses fleurs naissent avant les feuilles; elles sont disposées en paquets serrés et très-nombreuses le long des rameaux; son bois est brun-rougeâtre, très-fibreux, dur, souple et liant, d'une apparence grossière, sujet à se tourmenter, difficile à travailler. Les charpentiers n'en font usage que faute d'autre, parce qu'il est sujet à être piqué par les vers. On s'en sert cependant pour la charpenterie des moulins, pour celle des presses, pour faire des vis et des écrous. On en fait aussi des tuyaux pour conduites d'eau; il est en usage pour le charronnage. L'espèce désignée sous le nom de *tortillard*, dont les fibres ont une grande ténacité, sert à faire des moyeux de roues; elle est utile aussi dans la charpenterie, pour faire des poinçons qui reçoivent l'assemblage d'un grand nombre d'arbalétriers, et qui sont percés d'autant de mortaises.

Nous avons cité l'orme de Massachussets qui avait 11 mètres de diamètre. En 1789, on voyait encore dans beaucoup de villes de France des ormes dont Sully, ministre de Henri IV, avait ordonné la plantation; ils avaient 4^m,90 à 5^m,85 de circonférence.

L'orme est encore aujourd'hui l'arbre qu'on plante le plus le long des routes, et pour former des avenues; c'est lui qu'on est le plus dans l'usage d'étêter, malgré le tort que cela fait à sa croissance et à la qualité de sa tige. La vie de l'orme s'étend jusqu'à cent ans; au delà il dépérit. Il est dans la plus grande vigueur de soixante à soixante-dix ans.

(1) *Ulmus*.

On compte plusieurs variétés d'ormes; on les distingue par ormes à grandes et à petites feuilles, ou ormes mâle ou orme femelle, qui est l'orme de Hollande; il y a aussi une espèce, qu'on nomme orme-tilleul, dont le bois est presque aussi doux à travailler que celui du tilleul ou plutôt du noyer. Ses feuilles sont fort grandes.

§ 4. Du noyer.

Le *noyer* (1) est un arbre de première grandeur; ses branches forment une belle tête; ses feuilles sont amples, lisses et d'un très-beau vert; son fruit est la noix qui naît enveloppée, comme un noyau, par une sorte de pulpe épaisse nommée brou; son tronc est lisse, d'une couleur cendrée dans les jeunes sujets; son écorce est grécée et fendue dans les sujets les plus âgés qui acquièrent jusqu'à 3^m,90 de circonférence.

Son bois est brun, légèrement veiné, serré et doux à l'outil; les vers l'attaquent aisément; il y en a beaucoup de variétés. On distingue surtout le noyer brun, dit mâle, et le blanc; le bois du premier est plus beau et meilleur. Le noyer n'est guère d'usage en charpenterie; il convient mieux aux ouvrages de menuiserie et surtout d'ébénisterie. On le débite en plateaux et en planches; on l'emploie quelquefois dans les machines.

§ 5. Du hêtre.

On ne connaît que trois espèces de *hêtres*: une seule croît en Europe, le *hêtre des forêts* (2), dont la cime touffue s'élève de 19 à 26 mètres; il fait avec le chêne un bel ornement. A cent ans il a atteint son plus grand développement; son tronc peut acquérir 3 mètres de circonférence; son écorce grisâtre est souvent maculée de blanc et de jaune, par l'effet de diverses mousses qui s'y attachent; ses feuilles sont ovales; luisantes, d'un vert clair en dessous, et à peine dentelées sur leurs bords; ses fruits, connus sous le nom de fâmes, sont composés

(1) *Juglans*, de *Jovis-glans*, gland de Jupiter, à cause de la supériorité de son fruit sur ceux du chêne.

(2) *Fagus sylvestra*. Le nom latin de *fagus* paraît venir du verbe grec qui signifie *se manger*: il est probable que les hommes ont pu se nourrir des fruits du hêtre, que Linnée avait réuni avec le châtaignier dans un seul genre.

de deux noix triangulaires, renfermées deux à deux dans des involucres épineuses.

Son bois est d'une couleur fauve très-claire, ses fibres sont serrées; il n'est cependant pas très-dur, à moins qu'il n'ait subi l'action d'une vive chaleur. Il est facile à reconnaître, à cause d'une foule de papilles fines et allongées qui couvrent la surface par laquelle il se sépare de son écorce, et qui sont moulées dans cette écorce. Ces mêmes papilles en grains de chagrin se retrouvent lorsqu'on le fend sur les cercles annuels. Fendu sur sa maille, il présente des facettes brillantes et satinées comme celles du bois de chêne, mais incomparablement plus petites et plus multipliées.

Le hêtre a longtemps été abandonné comme bois de charpente, parce qu'il est ordinairement sujet à se fendre et à se laisser attaquer par les vers; mais on croit avoir trouvé le moyen de remédier à ces deux défauts, en choisissant pour l'exploiter le commencement de l'été, moment où il est dans la force de la sève. On le laisse, après qu'il est abattu, sécher pendant un an, et dès qu'il est débité ou équarri on le soumet à l'immersion dans l'eau douce pendant cinq ou six mois. On ne le rendra pas par ces moyens équivalent au chêne; mais au moins il pourra servir utilement pour les charpentes de second ordre, auxquelles il peut n'être pas nécessaire d'assurer une durée séculaire.

On prétend que la marine anglaise en fait usage pour la construction des navires, notamment pour les bordages, qui exigent des bois unis, droits et faciles à courber par le moyen de la chaleur. Il réussit fort bien aussi dans la charpenterie de moulins, lorsqu'il doit être constamment plongé dans l'eau.

Nous avons déjà vu qu'il sert dans la menuiserie et à la fabrication d'une foule de menus objets pour lesquels on le travaille encore vert; on donne à ces objets une grande dureté en les exposant, après qu'ils sont confectionnés, à une flamme vive entretenue avec des copeaux du même bois. Divisé en feuilles très-minces, on l'employait autrefois pour la reliure des livres; ces sortes de copeaux servent encore aujourd'hui aux gainiers.

§ 5. Du frêne.

Bosc compte une trentaine de variétés du frêne qu'on a obtenues par une longue culture du frêne commun (1), arbre de futaie à tige droite très-

(1) *Fraxinus excelsior*.

élevée. Ses feuilles sont pennées en nombre impair, elles sont composées de onze à treize folioles dentelées; ses fleurs sont en grappes sur les rameaux de l'année précédente; ses fruits sont des capsules oblongues terminées par un aileron membraneux.

Quoiqu'il vienne aussi gros que le hêtre, il est peu propre à la charpenterie, parce qu'il est dur et pesant; mais il sert dans plusieurs autres arts, notamment dans le charronnage pour les pièces qui exigent de la longueur et de la souplesse.

Le bois de frêne est blanc, veiné longitudinalement de teintes jaunâtres; ses zones annuelles sont composées chacune d'une couche de bois serré, et d'une couche dans laquelle se trouvent une multitude de petits pores comme ceux du chêne, qui se manifestent par des petits trous sur la coupe perpendiculaire à la longueur de l'arbre, et par des petits canaux interrompus sur la coupe dans le sens des fibres.

Le défaut qu'on reproche au bois de frêne, c'est d'être assez promptement piqué par les vers.

II. BOIS RÉSINEUX.

§ 7. Du pin.

Parmi une trentaine de pins qu'on connaît, neuf seulement croissent en Europe.

Les pins s'élèvent de 26 à 32 mètres. Leurs rameaux sont disposés par verticilles, c'est-à-dire par étages autour de la tige; leurs feuilles, toujours vertes, linéaires, réunies à leurs bases deux ou cinq ensemble, sont disposées en spirale autour des rameaux. Leurs fruits sont renfermés dans des cônes ou strobiles.

Le pin sauvage (1) vulgairement pin de Genève, pin de Russie, pinéasse, a ses feuilles disposées en double spirale sur les rameaux; elles sont étroites, droites, raides et demi-cylindriques; ses cônes sont parfaitement coniques, arrondis à leur base; ils ont depuis 4 jusqu'à 7 centimètres de hauteur. Le pin sauvage croît dans le nord de l'Europe et dans les pays de montagnes; il est commun en France, dans les Alpes, les Pyrénées, les Vosges, en Bourgogne, en Auvergne et aux îles d'Hyères.

(1) *Pinus sylvestris*.

Le *pin rouge* (1) ou *pin d'Écosse* produit ces cônes quadrangulaires à base en losange; il croît en Écosse, dans les Alpes et les Pyrénées.

Le *pin mugho* (2), vulgairement *torche-pin pin suffis*, *pin crin*, *mugho*, a le même fruit que le *pin sauvage*; ses feuilles sont d'un vert plus foncé, elles exhalent une forte odeur de térébenthine. Ses cônes sont toujours plus courts d'un tiers que ses feuilles; il croît dans les Alpes et les Pyrénées.

Les feuilles du *pin d'Alep* (3), vulgairement *pin de Jérusalem*, sont très-étroites, d'un vert foncé et longues de 55 à 80 millim.; sa tige n'atteint que 16 à 19^m,50 de hauteur. Ses cônes adhèrent aux rameaux par de très-forts pédoncules; leur pointe est dirigée presque perpendiculairement vers la terre. Ce pin croît en Syrie, en Barbarie, sur les montagnes de l'Atlas, et en France sur les côtes de Provence, où l'en en retire les mêmes produits résineux qu'on extrait du pin maritime des landes de Bordeaux.

Le *pin laricio*, *pin de Corse* (4) croît sur les montagnes de l'île de Corse et en Hongrie; c'est le plus beau des pins indigènes: il atteint 39 mètres de hauteur, et s'élève en pyramide régulière; ses feuilles jumelles sont très-meuues, elles ont 13 à 19 centim. de longueur; ses cônes sont réunis de 2 à 4, situés horizontalement, leur pointe tournée vers la terre.

Le *pin maritime* (5) croît naturellement dans le midi de l'Europe dans les sables voisins de la mer. Il forme les forêts appelées *pignadas* dans les landes qui s'étendent le long des côtes de l'Océan, depuis Bayonne jusqu'à Bordeaux, où on le cultive pour en extraire la résine. Il vient aussi dans les terrains sablonneux du Maine, de la Bretagne, de la Sologne et même dans ceux de Fontainebleau. Ses cônes sont compactes, moins allongés que ceux des autres espèces; on les connaît sous le nom de *pommes de pin*.

Le *pin pinier* (6), appelé aussi *pinpignon*, *pin-bon*, est originaire d'Orient; on le trouve en Italie, en Espagne et dans le midi de la France; il s'élève à 16 et 19^m,50 et se reconnaît facilement à l'étendue de sa tête, dont les branches sont étalées horizontalement, un peu relevées à leurs extrémités formant une espèce de parasol; ses feuilles, d'un vert foncé,

(1) *Pinus rubra*.

(2) *Pinus mugho*.

(3) *Pinus halepensis*.

(4) *Pinus laricio*.

(5) *Pinus maritima*.

(6) *Pinus pinca*.

ont 16 à 19 cent. de longueur et sortent deux à deux de la même gaine. Ses cônes sont ovoïdes, d'environ 0^m,11 de longueur dans leur maturité, un peu tronqués par le bout et comme ombiliqués.

Le pin *cembro* (1) vient dans les hautes montagnes et dans les plaines de la Sibérie. Il est connu dans les Alpes du Dauphiné sous le nom d'*alviès*, de *cembro*, d'*œuwe* et de *tinier*; c'est celui qui résiste le mieux à la rigueur des pays froids. Sa croissance est extrêmement lente, ses feuilles, longues de 55 à 80 millim., sont réunies quatre ou cinq dans chaque faisceau; ses cônes ovoïdes ont 55 à 80 millim. et sont dressés verticalement.

Le pin *weimouth*, ou *pin du lord* (2), indigène de l'Amérique septentrionale, introduit en Europe par lord Weimouth, parvient à 49 mètres de hauteur et à 1^m,45 de diamètre; on en a même vu de 58^m,50 de haut. Ses feuilles sont fines et déliées, de 8 à 11 centim. de longueur, réunies par cinq; ses cônes, presque cylindriques, ont 0^m,11 à 0^m,135; ils sont pendants, portés par des pédicules assez longs, réunis ou solitaires. Les plus beaux sujets de cette espèce qu'on connaisse en France sont ceux du jardin royal de Trianon, près Versailles; ils sont plantés depuis environ soixante ans: il y en a plusieurs qui ont plus de 16 mètres de hauteur sur 0^m,54 à 0^m,67 de diamètre.

Le *pin de la Caroline*, ou plutôt de *Californie*, dont nous avons déjà parlé, passe en hauteur le pin de Weimouth; c'est le plus grand de toutes les espèces de pins et même de tous les arbres. Il serait bien à désirer que ce pin pût être acclimaté comme arbre forestier en Europe; on prétend qu'il réussirait aussi bien que le pin Weimouth dans toutes nos contrées sablonneuses. Quels services il rendrait à l'art de la charpenterie, s'il est vrai, comme l'affirme M. Sabine (3), qu'il fournirait de grosses poutres de plus de 49 mètres de longueur et des planches d'une largeur telle, qu'il n'en faudrait que deux pour former le parquet d'une grande salle!

§ 8. Du sapin.

On connaît environ dix-huit espèces de *sapins* qui diffèrent peu du sa-

(1) *Pinus cembra*.

(2) *Pinus stobus*.

(3) Société linnéenne de Londres.

pin commun ou *argenté* (1), du *sapin élevé* ou *pesse* (2) et du *sapin blanc* (3); on donne le nom d'*épicéa* à quelques variétés.

Les sapins sont de la famille des conifères; ce sont de grands arbres à tiges droites. Leurs rameaux sont disposés autour de la tige avec laquelle ils forment des angles droits; leurs feuilles linéaires, quadrangulaires et pointues, sont éparses, toujours vertes, d'une teinte sombre; les fruits sont des cônes écailleux pendants de 0^m,13 à 0^m,16 de longueur. Les sapins s'élèvent à plus de 39 mètres de hauteur; ils acquièrent à leur base plus d'un mètre de diamètre; ils croissent naturellement dans les forêts des montagnes d'Europe; on les trouve en France dans les Alpes, les Vosges et les Pyrénées.

Le *sapin blanc* n'est acclimaté en France que depuis la fin du dernier siècle.

Les sapins ne s'élèvent que lentement dans les premières années; ce n'est qu'à six ans qu'ils commencent à pousser très-vite; c'est entre douze et trente ans qu'ils croissent le plus rapidement, ils grandissent alors chaque année de 0^m,65 à 1 mètre.

Le sapin une fois coupé, sa souche ne fournit jamais de rejet; lorsqu'on coupe le sommet de sa tige, il se couronne et cesse de croître en hauteur; il n'en est pas de même du *sapin pesse*; il peut perdre sa flèche, ou pousser terminale, une pousse latérale la remplace ordinairement.

§ 9. Du mélèze.

Le *mélèze* (4) est une espèce de sapin. Son tronc est parfaitement droit, ses branches, nombreuses et horizontales, sont par étages irréguliers; elles sont très-flexibles, leurs extrémités se plient vers la terre; elles forment par leur ensemble une vaste pyramide. Les feuilles du mélèze sont d'un vert gai, disposées en rosettes éparses sur les jeunes rameaux d'un à deux ans. Le mélèze est le seul conifère qui perde ses feuilles pendant l'hiver; ses cônes sont ovoïdes, longs de 0^m,027. Il croît sur les Alpes de la France et de la Suisse, sur les Apennins, sur les montagnes de l'Alle-

(1) *Abies vulgaris*.

(2) *Abies excelsa*.

(3) *Abies alba*.

(4) *Larix europæa, pinus larix*.

magne, de la Russie et de la Sibérie, et dans la plus grande partie des régions septentrionales de l'ancien continent; il n'en existe pas en Angleterre ni dans les Pyrénées. C'est le plus haut et le plus droit de nos arbres indigènes. Pline (1) parle d'une poutre de mélèze de 39 mètres de long sur 0^m,65 d'équarrissage, que l'empereur Tibère fit transporter à Rome, et que Néron a employé dans son théâtre. De nos jours, il existe sur la montagne d'Endzon, dans les Alpes du Valais, un mélèze célèbre; sept hommes suffisent à peine pour l'entourer, et ce n'est qu'à 16 mètres qu'il donne ses premières branches.

Le mélèze n'est pas moins remarquable par ses qualités que par sa beauté. Il fournit la meilleure matière, son bois est le plus durable de la classe des pins et sapins; en Suisse et en Savoie, il sert à la construction des maisons; en grosses poutres, il compose les murailles; fendu en bardeau, il forme les couvertures, et, lorsque la chaleur produite par le soleil a fait suinter la résine, elle bouche tous les interstices du bois et forme sur toute sa surface un vernis impénétrable à l'eau et à l'air. Malesherbes a vu dans le Valais, en 1778, une de ces maisons qui avait alors deux cent quarante ans, dont les bois étaient parfaitement sains. Dans l'eau, le mélèze est impérissable; il durcit à l'égal de la pierre. Muller fait mention d'un vaisseau de mélèze et de cyprès trouvé à 12 brasses sous l'eau, dans les mers du Nord, après avoir été submergé pendant deux mille ans, dont le bois résistait aux meilleurs outils.

§ 10. Du cèdre du Liban.

Le cèdre (2), dont nous ne parlons ici qu'à cause de la célébrité qu'il avait dans l'antiquité et qu'il a conservée de nos jours, est une espèce de sapin : c'est un des plus beaux et des plus grands arbres. Son tronc acquiert plus de 12 mètres de circonférence, il s'élève à proportion; ses branches s'étendent horizontalement, comme celles du sapin ordinaire; ses feuilles sont linéaires, courtes et triangulaires; ses graines sont contenues dans des cônes ovales. Le cèdre croît particulièrement en Syrie; néanmoins, les magnifiques forêts qui couvraient les montagnes de cette

(1) Liv. XVI, ch. XL.

(2) *Cedrus*.

partie de l'Asie étaient réduites à une centaine de cèdres, lorsque M. La Billardière les visita en 1807.

Quand le cèdre a été abattu, il ne repousse jamais de ses racines. Son bois est propre à la charpenterie.

Le temple de Jérusalem était en grande partie en cèdres coupés sur le mont Liban.

Le bois de cèdre est léger, d'un blanc rougeâtre, résineux, veiné comme celui du pin sauvage; il est sujet à se fendre et tient mal les clous.

On est loin de lui accorder aujourd'hui la propriété d'être incorruptible, comme le pensaient les anciens; on le regarde même sous ce rapport comme inférieur au sapin. Nous ferons remarquer, à ce sujet, que la conservation de certains bois peut résulter des climats où ils sont employés plutôt que d'une propriété spéciale d'incorruptibilité.

Le cèdre est peu commun en France, et il n'y aurait peut-être pas un très-grand avantage à l'y multiplier.

- Les plus anciens cèdres d'Europe sont ceux du jardin de Chelsea, près Londres; en 1766, quatre-vingt-trois ans après leur plantation, ils avaient 3^m,90 de circonférence. Le plus ancien de ceux du Jardin du Roi à Paris, apporté d'Angleterre en 1734 par Bernard de Jussieu, avait en 1817 2^m,90 de circonférence; l'accroissement de son diamètre avait été d'environ 0^m,01 par année. Si l'on calcule d'après cette observation, l'âge des plus gros cèdres du mont Liban, ceux dont le tronc a 11^m,70 de tour, suivant Maundrell et Pockoeke, on trouve qu'ils doivent avoir de neuf cents à mille ans.

On avait cru que les arbres qui composent les forêts situées entre le Volga et le Tobol, et dont parle Pallas, étaient des cèdres de l'espèce du Liban. M. Ferry a reconnu que le prétendu cèdre de Sibérie est le *pin cembro*, dont nous avons parlé, et que les Russes appellent effectivement du nom de *kedr*; ses amandes sont vendues comme noisettes de cèdre dans tout l'empire.

Le bois du *sapin*, du *mélèze* et du *pin* est aisé à reconnaître parmi tous les autres bois; mais il est assez difficile, à moins d'une grande habitude, de juger à laquelle de ces espèces et de leurs variétés il appartient. Le bois du *sapin pesse* se distingue cependant par sa finesse, la disposition serrée et uniforme de ses couches et par sa couleur plus blanche que celle d'aucune autre espèce résineuse. Le *mélèze*, au contraire, est remarquable par sa couleur rouge et ses veines d'autant plus foncées qu'il est plus âgé.

Les bois de ces espèces sont composés de couches annuelles très-distinctes

sur la coupe transversale, chacune est formée de deux substances, l'une blanchâtre, molle et comme médullaire; l'autre serrée, dure, essentiellement résineuse, de couleur fauve. Lorsqu'on fend un arbre résineux longitudinalement sur ses cercles annuels, chap. III, § 11, les deux substances se montrent en larges bandes longitudinales, dont les contours sont irréguliers, les deux teintes sont fondues dans la largeur de chaque couche annuelle et coupées nettement aux séparations de ces couches; fendu également en long sur sa maille, brut ou poli au rabot, il présente des bandes étroites, régulières, qui répondent aux couches annuelles et sont composées comme chacune d'elles d'une partie blanche et molle et d'une partie dure et résineuse; plus les lignes résineuses sont rapprochées les unes des autres, plus le bois est solide et beau. C'est le cas du sapin *pesse* que l'on fend ainsi sur sa maille, pour les luthiers et fabricants de pianos, qui en font des tables d'harmonie de tous les instruments, parce qu'il est le plus beau, le plus blanc, de la texture la plus fine et la plus régulière, et qu'il est le plus sonore.

Les pins, les sapins et les mélèzes sont sujets à être piqués par les vers si on ne les écorce pas aussitôt qu'ils sont abattus, et si on ne les sort pas immédiatement de la coupe. Nous avons eu occasion de parler, ch. II, § 3, des dégâts causés par les insectes qui attaquent ces arbres lorsqu'ils sont sur pied. Leurs ravages ne sont pas moins rapides sur les bois abattus si l'on n'a pas les précautions que nous venons d'indiquer.

Les bois résineux, équarris et débités servent à toutes sortes de travaux; ils fournissent des poutres, des solives et autres échantillons de construction, des madriers et des planches pour la couverture et la menuiserie des maisons et pour les meubles, des bordages pour les vaisseaux et les bateaux; on a reconnu que le mélèze était le meilleur pour cet usage. Ils servent enfin à la confection d'une foule d'objets.

On doit examiner avec soin les nœuds des pièces de bois provenant d'arbres résineux, attendu que lorsqu'ils sont cariés, les marchands masquent ce défaut en substituant aux nœuds viciés des nœuds sains, qu'ils colent avec de la résine fondue.

On tire par différents modes d'incision des térébenthines du sapin et du mélèze, et des résines de différents pins. Les arbres dont on n'a point extrait ces substances sont d'une meilleure qualité pour les constructions. Ceux que l'on a épuisés en les *taillant à mort*, comme disent les résiniers, ne sont bons qu'à être brûlés, pour en extraire encore du goudron ou pour le chauffage; on peut aussi les employer à des travaux grossiers et provisoires,

tels que des échafaudages, des cintres pour petites voûtes, des ponts de service et des planches pour le roulage des brouettes. Les bois ainsi détériorés sont aisés à reconnaître lorsqu'ils sont débités, par la maigreur et la pauvreté de leurs veines résineuses; ils se pourrissent promptement, et sont rapidement rongés par les vers.

Non-seulement on consomme en France les bois de pin, de sapin et de mélèze exploités dans nos forêts, mais encore ceux que nous recevons par mer de diverses contrées du Nord.

La Prusse, la Suède, la Norvège, la Russie apportent dans nos ports ces sortes de bois débités en planches et madriers, qu'elles échangent contre des produits de notre sol. Elles nous fournissent aussi de superbes bois de mâturation, et des poutres des plus belles dimensions.

Les bois résineux qui viennent des parties sablonneuses du Brandebourg et des provinces prussiennes adjacentes sont connus sur nos côtes sous la désignation de *bois de Prusse*; ils sont les plus beaux et préférables pour la menuiserie. Ceux des autres contrées, dits *bois rouges*, qui sont principalement des mélèzes, sont plus résineux et meilleurs pour les ouvrages extérieurs. Les différentes qualités des bois du Nord sont indiquées par les noms des ports d'où ils sont apportés. Tous ces bois sont excellents pour la charpenterie.

§ 11. Du cyprès.

Quoique le *cyprès* ne soit pas cultivé en forêts dans nos climats et qu'il n'y ait pas été très-multiplié depuis 1736, époque de son importation en France, si ce n'est pour la décoration des parcs et jardins, on en trouve encore assez souvent, et les qualités de son bois sont assez remarquables pour que nous en parlions.

Le *cyprès ordinaire* ou *commun* (1) est comme les précédents de la famille des conifères et résineux; il conserve ses feuilles pendant l'hiver; elles sont d'un vert foncé, pointues, opposées sur quatre rangs, de sorte que chacune paraît sortir de celle qui l'a précédée. Ses fruits sont globuleux et remarquables par un caractère du genre; ils s'ouvrent par la séparation des écailles, et chacun présente l'aspect de plusieurs clous implantés dans un centre commun. Le cyprès est un arbre très-élevé, pyramidal, dont le

(1) *Cupressus sempervivens*.

tronc est très-gros; ses rameaux sont serrés contre la tige qu'ils recouvrent de leur épais feuillage. Le cyprès réussit très-bien dans le sol de la France et même à Paris. Une seconde espèce, qu'on rencontre moins fréquemment, a ses rameaux écartés.

Le bois du cyprès est dur, résineux, compacte, de couleur pâle veiné de rouge, d'une odeur suave et pénétrante; il est incorruptible. Les anciens l'employaient dans la construction de leurs édifices et de leurs navires. Léon Alberty, architecte florentin de la fin du xv^e siècle, rapporte que lorsqu'il travaillait près du lac Ricia, on en fit retirer *le Trojan*, navire qui était resté submergé pendant plus de treize cents ans. Il remarqua que les planches de pin et de cyprès étaient encore dans leur entier.

Les portes de Saint-Pierre de Rome, qui avaient duré onze cents ans, étaient de bois de cyprès. Ce ne fut que pour leur en substituer d'autres d'airain que le pape Eugène IV les fit enlever.

Enfin M. Fougereux a observé en 1786 que des poteaux faits en bois de cyprès, morts par l'effet du froid de 1709 et placés par Duhamel-Dumonceau autour d'une couche à Denainvillier, subsistaient encore très-sains après avoir servi cinquante-six ans, tandis qu'on était obligé tous les 10 à 12 ans de rétablir ceux qui étaient en bois de chêne ou de toute autre nature.

Il est à regretter que la lenteur de l'accroissement d'un bois si précieux s'opposera toujours à ce qu'il soit cultivé en grandes forêts.

§ 12. De l'if.

Quoique le fruit de l'if commun (1) soit plutôt une *noix* qu'un *cône*, d'autres caractères ont déterminé à le classer parmi les conifères. Ses feuilles linéaires sont plus rapprochées les unes des autres, disposées aux deux côtés opposés de ses branches nombreuses, qui croissent presque par étage autour de la tige.

L'if croît naturellement dans les lieux secs et froids des montagnes. Son bois est d'un beau rouge veiné. C'est un des plus pesants de ceux qui croissent en Europe. Il est néanmoins propre aux constructions en charpente, lorsqu'il a une taille suffisante. Plusieurs arts le recherchent.

L'if vit très-longtemps; il devient colossal; il en existe dans le département de l'Eure plusieurs qui sont remarquables par leur grosseur et leur vétusté.

(1) *Taxus baccifera*.

Dans la commune de Foullebec, à 8 kilomètres de Pont-Audemer, un de ces arbres a 6^m,80 de tour; il soutient le chœur d'une église, à laquelle il a été adossé. Sur le bord d'un ravin profond, dans le cimetière de Boisney, on en voit deux, l'un de 5 mètres et l'autre de 6^m,50 de tour. Il n'est pas rare d'en trouver de semblables dans le même département. A Fortingall, en Écosse, on montre aux voyageurs un if de 16^m,15 de circonférence, il est en assez mauvais état, et les processions funèbres passent par l'ouverture de son tronc pour se rendre au cimetière qui en est voisin.

Ces arbres doivent être fort âgés, car l'if croit très-lentement. On a compté cent cinquante couches annuelles sur un if de 0^m,35 de diamètre, deux cent quatre-vingt sur un autre de 0^m,54. D'après ces observations, l'if de Foullebec aurait douze cents ans d'ancienneté, et celui de Fortingall, près de trois mille ans. Cependant il existe au Jardin des plantes, à Paris, des ifs plantés en 1635, le plus gros a 1^m,60 de circonférence. En supputant l'âge des ifs de Foullebec et de Fortingall d'après l'âge de ces derniers, le premier n'aurait que huit cents ans, et le second dix-huit cents à deux mille ans.

III. BOIS BLANCS OU MOUS.

§ 13. Du peuplier.

Les arbres du genre *peuplier* sont en général faciles à reconnaître. Ils sont très-élevés et en pyramide; leur feuillage diffère tellement des autres arbres qui affectent à peu près la même forme, qu'on ne peut s'y méprendre. Les feuilles du peuplier sont luisantes et d'un beau vert en dessus; elles sont ordinairement blanches et plus ou moins cotonneuses en dessous; elles sont rondes ou triangulaires, et portées par de longs pétioles qui leur donnent une extrême mobilité; elles sont agitées au moindre vent.

Les peupliers croissent dans les terrains arides aussi bien que dans un terrain humide. Ils préfèrent cependant ce dernier.

On connaît une vingtaine d'espèces de peupliers qui croissent en Europe et sont acclimatées en France. Nous ne citerons que les principales.

Le *peuplier blanc* (1), vulgairement *ypréau*, élève sa tige jusqu'à 32 mètres,

(1) *Populus alba*.

et acquiert 1 mètre de diamètre par le bas; il peut vivre deux siècles. L'écorce de son tronc et de ses branches est d'un gris blanchâtre, celle de ses rameaux est blanche et cotonneuse ainsi que le dessous de ses feuilles, qui sont en dessus d'un vert obscur et luisantes.

Ce peuplier produit un coup d'œil toujours agréable et souvent magnifique par son port, la différence des deux couleurs et le continuel mouvement de son feuillage. Ses fleurs sont en chatons oblongs; elles paraissent longtemps avant ses feuilles.

Le nom d'*yprès* paraît lui venir de ce qu'il est très-commun et très-beau autour de la ville d'Ypres. Il croît également bien dans les environs de Lyon et d'Avignon. Il y devient si beau, qu'on a proposé de l'appeler *l'arbre du Rhône*.

Le bois du peuplier est blanc; ses fibres sont fines; ses veines et ses couches annuelles sont à peine sensibles; il est léger, un peu mou, facile à travailler, susceptible cependant d'un beau poli; coupé avec un rabot dont le tranchant est très-fin, il présente une surface satinée. En Flandre, il est connu sous le nom de *blanc*. On préfère sa variété appelée *blanc de Hollande*; on s'en sert pour des charpentes ordinaires et pour tous les ouvrages de menuiserie, même les plus délicats. Ses plus grosses branches servent à fabriquer des ustensiles de ménage et des sabots.

Si le peuplier peut rivaliser avec le chêne par la hauteur et la grosseur de la tige, son bois ne peut soutenir la comparaison.

Le *peuplier noir*, *peuplier franc* (1), acquiert une grande élévation dans les lieux humides; ses feuilles sont unies et d'un vert brun des deux côtés, ce qui lui a valu son nom distinctif. Une variété qui s'élève moins haut et qu'on cultive en têtards fournit l'osier blanc.

Le *peuplier argenté* (2), qui s'élève de plus de 26 mètres, se distingue des deux espèces précédentes par le duvet blanc argentin qui couvre ses feuilles des deux côtés. Ce duvet ne disparaît que lorsqu'elles ont acquis leur entier développement, qui est ordinairement de 0^m,16 de largeur, et quelquefois de 0^m,20 à 0^m,27. Ces larges feuilles sont portées sur un long pétiole. Le peuplier argenté est originaire des États-Unis; il vient très-bien en France, où il est cultivé depuis 1765.

Le *peuplier d'Italie*, *peuplier pyramidal* (3) a le même feuillage et la

(1) *Populus nigra*.

(2) *Populus heterophylla*, *populus argentea*.

(3) *Populus fastigiata*, *P. dilatata*.

même floraison que le peuplier noir, mais il se distingue par la beauté de son immense pyramide, formée par ses nombreuses branches, serrées contre sa tige très-élançée et parfaitement droite. On présume qu'il est originaire d'Orient. En Hongrie, on le nomme *peuplier turc*; il a été apporté de Lombardie en France vers 1747, et les premiers arbres de son espèce ont été plantés le long du canal de Briare; on l'a beaucoup multiplié depuis, surtout comme arbre d'alignement, à cause de sa beauté. On est cependant un peu revenu de l'enthousiasme qu'on a eu pour lui, qui allait jusqu'à le croire propre à la mâture des vaisseaux.

Il croît très-rapidement, mais son bois n'a pas les qualités qu'on lui supposait, il est inférieur à ceux du peuplier blanc et du peuplier noir. On le débite en planches; il sert à maint usage, et à cause de sa légèreté, il convient pour faire des caisses d'emballage.

On a acclimaté en France d'autres espèces de peupliers, telles que le *peuplier d'Hudson*, le *peuplier de Virginie* ou *de Suisse*, le *peuplier de Maryland*, le *peuplier de Caroline*, dont les pousses sont quadrangulaires, le *peuplier du Canada*, le *peuplier à feuilles vernissées*, qui diffèrent peu des espèces principales que nous venons d'indiquer, et sont des arbres de grande hauteur et propres aux mêmes objets de travail.

§ 14. Du tremble.

On désigne sous ce nom une espèce de *peuplier* qui croît particulièrement dans les forêts (1). Le *tremble* s'élève à 13 mètres; ses branches, dont l'écorce est lisse et blanche, se divisent en rameaux souples, rougeâtres, qui forment une tête arrondie; ses feuilles, plus larges que longues, sont légèrement cotonneuses dans leur jeunesse et parfaitement unies lorsqu'elles sont dans un âge plus avancé. Elles tiennent à un pétiole extrêmement long, et sont plus tremblantes que celles d'aucune autre espèce du genre *peuplier*. Son bois, très-mou, ne vaut rien; on ne s'en sert que pour les ouvrages les plus grossiers et les plus communs. On ne l'emploie comme bois de charpente que dans les campagnes.

§ 15. De l'aune.

L'*aune* (2) ou *aune* est connu dans une grande partie de la France sous

(1) *Populus tremula*.

(2) *Alnus*, parce qu'il vit sur le bord des eaux, *alitur amne*.

les noms de *vergne*, *verne*, *averne*. C'est un arbre voisin du bouleau; quelques personnes le regardent comme une espèce de *peuplier*. Il se plaît comme le saule au bord des eaux, et se fait remarquer par la fraîcheur de son feuillage jusque dans l'arrière-saison.

On émonde cet arbre comme une perche : les nouvelles pousses lui donnent une forme factice pyramidale qu'il n'a pas lorsqu'on le laisse croître suivant ses habitudes naturelles. Le bois de l'aune a quelque ressemblance avec celui du *peuplier*, sous le rapport de sa contexture, mais il a une couleur rousse, il est un peu plus ferme; on l'emploie pour des ouvrages de menuiserie commune. Il se corrompt facilement à l'air, ce qui fait qu'on ne l'emploie point pour les charpentes; mais il a une très-longue durée dans l'eau, on en fait de très-bons pilotis, des tuyaux de conduite et des corps de pompe.

§ 16. Du bouleau.

Parmi quatorze ou quinze espèces de *bouleaux*, sept à huit sont naturelles à l'ancien continent. Notre *bouleau commun*, *bouillard* ou *bouleau blanc* (1), forme en France une grande partie des bois taillis; il s'élève jusqu'à quinze mètres lorsqu'on lui en laisse le temps. Il est facile à reconnaître par le blanc éclatant dont brille l'épiderme de son écorce jusqu'à la décrépitude. Le tronc est marqué seulement vers le bas de grandes gerçures noirâtres; ses branches sont grêles et pendantes; ses feuilles sont petites, triangulaires, dentelées et lisses; son écorce est composée de feuillettes qu'on peut séparer en les développant par bandes autour de la tige. Jadis les plus blancs de ces feuillettes servaient généralement de papier; ils en servent encore dans le Nord.

Le bois du bouleau est d'un blanc légèrement roux; ses fibres sont fines, droites et serrées. Cependant il est médiocrement dur, et il se travaille bien. On le rencontre rarement en France assez gros pour en tirer des poutres, mais il peut fournir, rond ou équarri, des chevrons pour des toits de peu d'importance; on l'emploie dans le charronnage. On peut en faire des jantes d'une seule pièce en le courbant sur pied. On peut en faire aussi de bons essieux.

(1) *Betula alba*.

§ 17. *Du charme.*

De trois espèces connues, une seule est indigène à l'Europe, et croît dans les forêts de France, et une autre y a été acclimatée.

Le *charme commun* (1) s'élève de 16 à 20 mètres; son tronc a rarement plus de 1/3 de mètre de diamètre; son écorce blanchâtre avec des taches grises, est unie; sa tête est touffue; ses feuilles sont ovales, terminées en pointes doublement dentées sur leurs bords. Elles sont unies et d'un beau vert en dessus; en dessous, leur vert est un peu plus pâle; leurs nervures sont obliques et saillantes; lorsque les feuilles du charme sont jeunes, elles sont plissées et leurs plis répondent aux nervures; ses fleurs sont en chatons.

Le bois du charme est blanc, d'un grain très-fin et serré; il prend en séchant un grand retrait qui resserre ses pores et le rend très-dur; il est bon dans le charronnage et dans la charpenterie des machines, pour faire des vis de presse, des poulies, des comes et des dents de roues. On en fait des formes pour les cordonniers.

On ne s'en sert point en menuiserie, parce qu'il se lève par esquilles sous le rabot. Il est plus docile à l'outil lorsqu'on le travaille sur le tour.

Le *charme d'Orient* ne diffère du charme commun que parce qu'il s'élève moins et que ses feuilles sont moins plissées; on le cultive en France depuis longtemps. Sa propriété de pousser des branches de tous côtés sur son tronc nouveau a donné le moyen d'en former des haies, palisses et colonnades taillées aux ciseaux, dont on a longtemps décoré les jardins, et qui ont pris de lui le nom de *charmilles*.

§ 18. *De l'érable.*

Les feuilles de l'érable le font aisément distinguer de tous les autres arbres; elles sont découpées en cinq lobes pointus. Les fleurs naissent aux aisselles des feuilles ou aux sommets des rameaux; elles sont en bouquets ou en grappes; ses graines sont ailées. De vingt espèces d'érables que l'on connaît aujourd'hui, six croissent en Europe, et deux seulement sont communes en France.

L'érable sycomore (2), *sycomore*, *érable blanc*, *faux platane*. — Ses

(1) *Carpinus betulus*.

(2) *Acer pseudoplatanus*. Nommé *sycomore* à cause de la ressemblance de son beau feuillage avec celui du *sycomorus*, *figuier-mârier d'Égypte*, ou *figuier de Pharaon*.

feuilles sont d'un beau vert en dessus, blanchâtres en dessous, découpées en cinq lobes pointus et dentelés. Ses fleurs sont verdâtres. Il croît dans les forêts et sur les montagnes, s'élève de 10 à 13 mètres. Son bois est le meilleur des bois blancs; on l'emploie surtout en planches.

L'*érable plane* diffère peu du précédent; il s'élève moins; ses feuilles sont d'un vert jaunâtre, et bordées de longues dents; ses fleurs sont jaunes. Il y en a une variété dont les feuilles sont très-découpées et crépues.

§ 19. Du tilleul.

Le *tilleul à larges feuilles*, vulgairement *tilleul de Hollande* (1), est un bel arbre élevé de 16 à 20 mètres. Son écorce est épaisse et crevassée; ses feuilles sont arrondies; elles forment un peu le cœur; elles sont bordées de dents et un peu velues en dessous, surtout sur leurs nervures; elles sont douces au toucher; ses fleurs sont d'un blanc jaunâtre, portées sur une espèce de foliole ou d'aileron; ses petits fruits sont ovales, ligneux et à côtes. Cette espèce croît dans les forêts, elle décore les jardins.

Le *tilleul à petites feuilles* ne diffère du précédent que par la petitesse de ses feuilles, qui sont lisses en dessus et en dessous, et qui n'ont que des touffes de poils roussâtres aux ramifications de leurs nervures.

Le *tilleul argenté* a ses rameaux couverts d'une écorce grise et cendrée; le dessous de ses feuilles est couvert d'un duvet blanc.

On cultive depuis longtemps en France le *tilleul d'Amérique*, qui s'élève à 26 mètres. Ses feuilles sont grandes, échancrées en cœur à leur base, rétrécies en pointe à leur sommet et unies.

Le bois du tilleul est blanc, uni; ses fibres sont serrées; néanmoins il est tendre et facile à travailler; on s'en sert en menuiserie principalement. Il est trop mou pour faire de bons assemblages de charpenterie. Son écorce sert à faire de gros cordages communs.

§ 20. Du platane.

Le *platane d'Orient*, anciennement *plane* (2), est le seul arbre de ce genre qui ait été acclimaté en France. On attribue son introduction en Europe à Nicolas Bacon, père du chancelier, qui le premier fit planter cet

(1) *Tilia platyphyllos*, *tilia europæa*.

(2) *Platanus orientalis*.

arbre dans ses jardins. Ce n'est qu'en 1754 que Louis XV fit venir des platanes d'Angleterre pour les placer autour de Trianon. Depuis cette époque, on en a cultivé de tous côtés.

Le platane d'Orient s'élève à une grande hauteur sur un tronc droit et uni. Son écorce, d'un vert gris, se détache annuellement par grandes plaques minces à mesure qu'il s'en est formé une nouvelle. Ses feuilles sont amples, unies, légèrement velues en dessous dans leur jeunesse, découpées profondément en lobes, dentées et souvent irrégulières; ses fleurs, qui paraissent en mai et juin, sont verdâtres; elles sont très-serrées et forment des globules comme veloutés de 0^m,027 à 0^m,034 de diamètre, qui pendent trois à six ensemble à une même queue. Dans les provinces du Midi, il acquiert une grande force. Les anciens citent des platanes qui avaient des dimensions gigantesques, auxquelles ceux plantés dans nos climats n'ont pas encore eu le temps de parvenir.

Le bois du platane a peu d'aubier; il a quelque ressemblance avec celui du hêtre; cependant un œil exercé ne s'y méprendra point. Il est susceptible d'un beau poli, mais il a le défaut de se laisser aisément percer par les vers. Il se conserve bien dans l'eau.

Du temps de Pline, on voyait en Lycie un platane dont le tronc était creux et formait une grotte de 26 mètres de tour.

Le *platane d'Occident*, ou *platane d'Amérique*, a beaucoup de ressemblance avec le *platane d'Orient*.

Michaux parle d'une pirogue d'Amérique de 21 mètres de long, faite d'un seul tronc d'un platane d'Occident.

§ 21. Du saule.

Il n'y a pas d'arbre dont les espèces ou variétés soient présumées si nombreuses : quelques auteurs ont cru pouvoir en compter jusqu'à deux cents. Les plus fortes et les plus communes en France sont les suivantes :

Le *saule blanc* (1), le *saule osier*, vulgairement *osier jaune* (2), le *saule fragile* (3), le *saule précoce* (4).

Ce sont des arbres de 10 à 13 mètres de hauteur, mais qu'on laisse

(1) *Salix alba*.

(2) *Salix vitellina*.

(3) *Salix fragilis*.

(4) *Salix præcox*.

rarement prendre cette croissance : on les tient en têtards le long des eaux, ou en taillis pour les exploiter en osier.

Les rameaux du saule sont souples; ses feuilles sont longues et étroites, souvent soyeuses, d'un vert blanchâtre et même argenté; ses fleurs sont en chatons; son fruit est une capsule oblongue, qui s'ouvre en deux et contient plusieurs graines environnées à leur base par une aigrette de poils.

Le bois du saule est d'un blanc rougeâtre ou jaunâtre pâle; il est uni, homogène et léger; il se travaille bien au rabot et sur le tour. Celui qui a acquis une grosseur suffisante peut être employé, s'il est sain, pour des solives dans des constructions peu importantes. On en fait des planches et divers objets légers. Celui qui a été cultivé en têtard n'est bon qu'à brûler, parce que son bois est rabougri et qu'il est souvent creux.

§ 22. De l'acacia.

L'arbre vulgairement appelé *acacia* est le *robinier* (1), *faux acacia*, grand et bel arbre de l'Amérique, généralement cultivé en Europe, où il est devenu très-commun, et peut rivaliser avec plusieurs espèces de nos forêts. Sa tige s'élève de douze à quinze mètres. Son élégant feuillage le fait aisément reconnaître; il est composé de folioles ovales d'un beau vert. Ses fleurs sont blanches et odorantes; elles sont réunies en belles grappes pendantes, auxquelles succèdent les gousses qui contiennent des graines un peu aplaties en forme de reins. Ses rameaux sont armés d'épines, surtout dans leur jeunesse. Son bois est jaune, veiné de bandes brunes verdâtres; il est uni, dur, pesant et susceptible d'un beau poli; il résiste très-bien à l'humidité; il est bon pour pilotis; on peut l'employer dans la charpenterie. Mais on en rencontre rarement dont la tige soit très-haute, parce que ses branches sont cassantes et qu'on est souvent obligé de l'étiéter. Les Anglais le préfèrent à tout autre bois pour faire des chevilles de vaisseau.

Le *robinier visqueux* (2) atteint la même force que le précédent, dont il ne diffère que par ses fleurs sans odeur, qui sont nuancées de rose, et surtout par une matière visqueuse qui abonde sur ses jeunes rameaux velus; les épines sont un peu plus courtes que celles du faux acacia. Il n'est encore cultivé que dans les jardins.

(1) *Robinia pseudo-acacia*.

(2) *Robinia viscosa*.

§ 23. *Du laurier.*

Le *laurier commun*, ou *laurier d'Apollon* (1), est la seule grande espèce qui croisse en France. Ses branches sont droites et serrées contre sa tige, qui s'élève de 6 à 8 mètres. Ses feuilles, longues et ovales, sont unies, coriaces, d'un vert foncé, ondulées sur leurs bords et aromatiques. Ses fleurs sont petites, de couleur verdâtre; ses baies sont ovales, bleuâtres, presque noires.

Son bois est blanc, tendre, souple et difficile à rompre. Ses tiges sont rarement assez grosses pour être équarries; on les emploie en perches pour chevrons de bâtiments ruraux.

§ 24. *Du marronnier d'Inde* (2).

Tout le monde connaît le *marronnier d'Inde*; c'est un très-grand arbre très-distinct de tous les autres par ses belles feuilles digitées, composées de cinq à sept folioles inégales, plus larges à leurs extrémités qu'à leur base, et par les magnifiques pyramides que forment ses fleurs. Son fruit est une grosse capsule hérissée de pointes qui contient un ou deux marrons d'une belle couleur brune et luisants. Cet arbre est originaire d'Asie. Il est passé en Allemagne en 1576, en France en 1615, et en Angleterre en 1633.

Le bois du marronnier est blanc, tendre, filandreux et de mauvaise qualité. Il se tourmente beaucoup; on lui reconnaît cependant la qualité de ne pas se laisser attaquer par les vers; on ne l'emploie guère dans la grosse charpenterie, attendu qu'il ne provient ordinairement que d'arbres de décoration qu'on n'a abattus que lorsqu'ils étaient depuis longtemps couronnés et vicieux dans l'intérieur.

IV. BOIS FINIS.

§ 25. *Du sorbier.*

Le *sorbier*, ou vulgairement *cormier* (3), est un arbre forestier auquel il

(1) *Laurus nobilis.*

(2) *Æsculus hippocastanum*, chène à châtaignes de cheval.

(3) *Sorbus domestica.*

faut au moins cent ans pour acquérir un diamètre d'un tiers de mètre et de 13 à 16 mètres de hauteur. M. Loiseleur-Deslongchamps dit avoir vu abattre un sorbier qui avait 3^m,90 de tour, et dont l'âge remontait peut-être à cinq ou six cents ans. Il fut vendu 600 fr.

La tige du sorbier est droite: son écorce est grise ou brunâtre, sa tête est pyramidale et régulière. Ses feuilles sont composées de quinze folioles oblongues, dentelées, vertes en dessus, velues et blanchâtres en dessous; ses fleurs sont blanches, elles forment de jolies couronnes aux extrémités des rameaux; les fruits, connus sous les noms de *sorbes* et *cormes*, sont des petites poires d'un rouge jaunâtre. Son bois est d'un grain très-fin, très-dur, très-compacte, d'un brun rougeâtre; il prend un très-beau poli; c'est un bois fort estimé pour les machines et pour les fûts d'outils.

Le *sorbier des oiseaux*, vulgairement *cochesne* (1), s'élève beaucoup moins que le précédent; son tronc est d'une grosseur médiocre; il croît aussi dans nos forêts où il se fait remarquer par ses petits fruits ronds et d'un rouge vif.

On le cultive en France pour l'ornement des jardins ainsi que le *sorbier hybride*, dont les feuilles sont découpées à leur base et terminées par un grand lobe irrégulièrement denté et qui croît naturellement dans les forêts montueuses de Suède, d'Allemagne et d'Angleterre.

§ 26. Du poirier.

Le *poirier* (2) est un arbre de moyenne taille, assez connu par l'excellence et les nombreuses variétés des fruits que les espèces cultivées produisent dans nos vergers et nos jardins. Le poirier commun croît dans les forêts où il peut s'élever de 9 à 13 mètres, et acquérir un diamètre de près d'un mètre. Sa tête occupe les trois quarts de sa hauteur et s'étend plus dans ce sens qu'en largeur.

Les jeunes rameaux du poirier sauvage sont garnis d'épines, et lorsqu'ils sont en âge de fleurir, une partie de ces épines se change en bourgeons à fleurs.

Les fleurs du poirier naissent ordinairement en bouquet à l'extrémité des petits rameaux latéraux. Ses feuilles sont lisses, d'un assez beau vert, légèrement cotonneuses en dessous quand elles sont jeunes. Son bois est pesant,

(1) *Sorbus aucuparia*.

(2) *Pirus*.

d'une contexture fine et serrée, de couleur rougeâtre; il se fend rarement. On doit attendre pour le travailler qu'il soit parfaitement sec, vu que lorsqu'il est vert il prend en séchant un retrait qui est évalué à un douzième de son volume; on l'emploie dans la charpenterie des machines pour des rouages; on en fait aussi des fûts d'outils. Le bois des poiriers cultivés est plus tendre que celui du poirier sauvage.

§ 27. Du pommier.

Le *pommier* (1) a de grands rapports avec le *poirier*; il est également cultivé dans les vergers et les jardins; mais il diffère du *poirier*: 1° par ses feuilles, qui sont unies des deux côtés, et même un peu luisantes au-dessus dans les espèces sauvages; 2° par ses fleurs, qui sont légèrement teintées de rose; 3° surtout par ses fruits, dont la forme diffère essentiellement de celle des poires.

Le *poirier* et le *pommier*, abandonnés à eux-mêmes, diffèrent aussi par leur port naturel: le premier tient ses branches redressées, tandis que le *pommier* étend les siennes horizontalement.

Les *pommiers* peuvent vivre deux cents ans et plus, et acquérir de grandes dimensions. On cite un *pommier* qui existe dans les environs de Bradfort, en Angleterre, dont la tête a, par l'effet de l'extension de ses branches, une circonférence de 52 mètres.

Le bois du *pommier* a le tissu fin; celui qui provient de vieux arbres est veiné d'un brun rougeâtre; on en fait ordinairement des planches; il est sujet à se déjeter et se fendre: il faut attendre qu'il soit bien sec pour le mettre en œuvre; il est aisé à travailler; il est propre pour toutes sortes d'ouvrages et remplace quelquefois le *poirier*, quoiqu'il soit moins dur.

§ 28. L'alisier (2).

Le bois de l'*alisier* est dur, sans couleur; il sert à faire des dents de rouages et des fuseaux de lanterne dans la charpenterie des machines.

L'*alisier* croît dans nos forêts, où il s'élève à une dizaine de mètres; il a de très-grands rapports avec les *sorbiers* et les *néfliers*. Ses feuilles sont larges, courtes, anguleuses, un peu en cœur à leur base et dentelées. Ses

(1) *Malus*.

(2) *Crataegus, mespilus*.

fleurs sont blanches; elles naissent en bouquets, ses fruits sont de petites baies brunes.

§ 29. Du néflier.

Les *néfliers* croissent dans les bois; leurs tiges, de médiocre grandeur, sont difformes et leurs rameaux sont tortueux. Celui vulgairement connu sous le nom de *néflier commun* (1) porte des fruits aplatis en dessus, bons à manger quand ils sont brossés et dont le noyau est remplacé par de petits osselets. On compte plusieurs espèces de *néfliers*, parmi lesquelles on distingue l'*azérotier* (2), l'*aubépine* (3) et le *buisson ardent* (4).

Le bois du *néflier* est très-dur, son grain est fin et égal, on ne l'emploie que très-sec dans différentes parties de la charpenterie des machines, telles que des dents pour engrenages de roues, des fuseaux ou chevilles de lanternes.

§ 30. Du merisier.

Le *merisier* et le *cerisier* (5) sont des arbres qui peuvent s'élever jusqu'à 8 mètres, et porter le diamètre de leurs troncs jusqu'à 0^m,65.

Les *cerisiers* sont assez connus par la bonté de leurs jolis fruits à noyaux, qui sont ordinairement d'un beau rouge.

Le bois des *cerisiers* est naturellement d'une couleur roussâtre, dont on peut augmenter beaucoup l'intensité en le faisant tremper dans de l'eau de chaux pendant 24 heures.

Le *merisier* est le plus dur de tous les *cerisiers*, dans les contrées où il est commun dans les forêts, et où par conséquent on lui laisse le temps de devenir très-gros; il fournit de très-bons bois de charpente; il est d'ailleurs propre à toutes sortes d'usages. Il est employé par les menuisiers en meubles et surtout par les fabricants de chaises.

§ 31. Du prunier.

Le *prunier* (6) a quelque rapport avec le *cerisier* et l'*abricotier*, il est connu, comme les précédents, par la bonté de ses fruits.

(1) *Mespilus germanica.*

(2) *Mespilus azarolus.*

(3) *Mespilus oxyacantha.*

(4) *Mespilus pyracantha.*

(5) *Cerasus.*

(6) *Prunus.*

Le bois du *prunier* est dur et compacte, orné de quelques veines rouges; il reçoit un beau poli, il est un peu satiné, il ne faut le travailler que sec. Le bois de *abricotier* lui est inférieur.

§ 32. Du cornouiller (1).

Les *cornouillers* sont connus par la multitude de leurs jolis petits fruits allongés et d'un beau rouge, assez bons à manger. Ces arbustes sont employés dans la décoration des jardins. Le bois de cornouiller est très-dur, celui des vieux pieds a le cœur brun, le tour est d'un blanc roux; on l'emploie dans la charpenterie des machines pour les engrenages des roues.

§ 33. L'arbousier.

L'*arbousier* (2), vulgairement *arbre à fraises* ou *fraisier en arbre*, parce qu'il porte des fruits globuleux, hérissés de petits tubercules d'un rouge éclatant et qu'on peut manger, croît naturellement dans les Pyrénées et la Biscaye.

Il s'élève assez haut, et son tronc acquiert, avec les années, de 0^m,26 à 0^m,29 de diamètre; il croît très-lentement; son bois a une très-grande ressemblance avec celui du cornouiller, il est très-dur et propre aux mêmes usages.

§ 34. Du buis.

Le *buis* ou *bouis* (3) est un arbre toujours vert, qui varie de grandeur suivant le climat où on l'éleve; dans le nord de la France, il est petit et sert de bordure dans les jardins, tandis qu'il forme des bois dans les parties méridionales.

Ses feuilles sont lisses, coriaces, elles n'ont qu'une seule nervure, elles sont d'un beau vert, quelquefois bordées de blanc ou de jaune ou panachées, elles exhalent une forte odeur. L'écorce de sa tige est gercée et jaunâtre.

Le bois de buis est jaune, d'un tissu très-fin, très-uniforme et très-serré; on distingue cependant aisément ses couches annuelles; il est liant, il supporte fort bien les vis, on le travaille bien, il est propre à toutes sortes

(1) *Cornus*.

(2) *Arbutus*.

(3) *Buxus*.

d'ouvrages qui exigent une grande résistance, il est parfait dans la charpenterie des machines pour faire des vis et des écrous, pour des dents et pour toutes les parties qui transmettent le mouvement.

Le buis était abondant autrefois auprès de Saint-Claude (Jura), où on l'employait pendant l'hiver à la fabrication de toutes sortes d'objets de tour. On voyait autrefois, dit-on, à peu de distance de Mâcon, une forêt de buis qui a été exploitée; les arbres y avaient atteint 8 mètres de hauteur. On en tire beaucoup d'Espagne.

Le bois de buis présente aux axes de fer ou de cuivre un frottement très-doux, auquel cependant il résiste fort bien; il peut suppléer, pour cet usage, le bois de gayac, qui est exotique, et même le cuivre.

CHAPITRE VIII.

ASSEMBLAGES.

La charpenterie diffère autant de la maçonnerie par la nature des matériaux qu'elle emploie que par le mode de les mettre en œuvre. Dans la maçonnerie, les pierres sont le plus ordinairement posées par lits horizontaux, les unes sur les autres; leur pesanteur si elles sont taillées, et l'interposition d'un mortier qui les colle si elles sont brutes, ou qu'il faille remédier aux imperfections de la taille, leur donnent la stabilité; on en forme des murailles compactes qui ne sont percées que des ouvertures nécessitées par la destination des édifices. Dans la composition d'une charpente, au contraire, un plus ou moins grand nombre de longues pièces de bois équarries et convenablement coupées, qui peuvent avoir toutes sortes d'inclinaisons, sont combinées de façon que les bouts des unes s'appuient sur quelques points de la longueur des autres et qu'elles s'étayent mutuellement, s'arc-boutent et forment des compartiments à jour, d'où résulte également force et stabilité, et de plus une très-grande rapidité d'édification et une légèreté qui rend ce mode de construction susceptible d'un grand nombre d'applications auxquelles la maçonnerie, dans beaucoup de cas, ne satisferait pas aussi bien. C'est ainsi que la charpenterie élève avec une célérité remarquable des maisons et des bâtiments de tous genres, qu'elle les divise en étages de la manière la plus simple, qu'elle établit des ponts de toutes dimensions, qu'elle couvre les plus vastes édifices et que ses résultats sont souvent préférables et toujours moins dispendieux que ceux qu'on obtiendrait d'un autre genre de construction.

La forme la plus simple et que l'imagination saisit le plus facilement est celle d'un parallépipède rectangle. C'est aussi celle dont l'exécution exacte est la plus aisée et qui convient le mieux aux constructions. Dans la maçonnerie, elle se prête à un arrangement simple et commode des matériaux et à leur stabilité. En charpenterie, elle est nécessaire pour satisfaire aux combinaisons régulières des pièces de bois et à la perfection de leurs assemblages.

Pour que deux pièces de bois qui se rencontrent s'arc-boutent mutuellement sans qu'aucune des deux soit sollicitée par l'autre à tourner sur son axe (1), il faut que les axes de ces deux pièces passent par un point commun. Il s'ensuit que les axes de deux pièces de bois assemblées l'une à l'autre doivent être dans un même plan.

On appelle *joint* la jonction *a b*, fig. 3, pl. XIV, des deux parties par lesquelles deux pièces de bois, *A*, *B*, qui se rencontrent s'appliquent exactement l'une à l'autre. Le *joint* est toujours circonscrit par les lignes qui marquent les intersections des faces d'une pièce sur celles de l'autre.

L'extrémité ou *bout*, *a b*, d'une pièce de bois *C*, convenablement coupée pour s'ajuster par contact à la pièce *B* et former le joint, s'appelle *about*. L'emplacement *a' b'* de cet about sur la pièce *B* à laquelle il s'applique s'appelle *occupation de l'about* ou *portée de l'about*.

Pour qu'un joint ait la forme la plus simple et en même temps la plus facile à exécuter, il faut que l'*occupation* ou la *portée*, comme l'*about*, soient plans, de même étendue et symétriques par rapport au plan des axes, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que les deux faces de chaque pièce sont perpendiculaires à ce même plan et que les deux autres faces lui sont parallèles. Cette considération ferait voir, si déjà nous ne l'avions pas dit, que les pièces de bois de charpente doivent nécessairement être *équarries*.

Dans les pièces de bois carrées qui forment un assemblage, nous nommerons faces de *parement*, celles parallèles au plan de leurs axes, et faces *normales*, faces d'*épaisseur*, ou faces d'*assemblage*, les deux autres.

Lorsque la jonction de deux pièces de bois a lieu par le simple contact d'un about contre sa portée, on dit qu'elles se rencontrent ou qu'elles sont jointes à *plat-joint*. C'est le cas représenté fig. 3. La pièce *A* est appliquée à la pièce *B* à plat-joint *a b*. La pièce *C*, en tout égale à la pièce *A*, est écartée de la pièce *B*; *a b* est son *about*; *a' b'* est son *occupation* ou *portée* sur la pièce *B*. Ce mode de jonction n'oppose aucun obstacle au glissement d'une pièce sur l'autre, c'est-à-dire de l'*about* sur sa *portée*, à moins qu'on n'y ajoute des clous ou des broches en fer *g*, fig. 9, pl. X.

Les entailles saillantes et creuses au moyen desquelles on rend un joint invariable, constituent un *assemblage*. On dit alors que les pièces sont *assemblées*, en ajoutant la désignation du genre d'*assemblage*.

(1) L'axe d'une pièce de bois est une ligne droite parallèle à ses arêtes, qui passe par son centre de gravité ou par les centres des rectangles d'équarrissage.

Pour la propreté et la solidité du travail, les diverses coupes d'un assemblage doivent être cachées ou au moins comprises dans l'étendue du joint, et ne doivent point sortir au-delà des plans ou faces de parement des deux pièces; c'est encore un des motifs qui obligent à tenir deux des faces des pièces assemblées parallèles au plan des axes.

Avant de nous occuper de la construction des charpentes, nous devons étudier les divers assemblages au moyen desquels les pièces de bois sont invariablement fixées les unes aux autres. La connaissance des assemblages est très-importante, attendu que toutes les fois que l'on compose une charpente on ne doit y établir aucune pièce, quelle que soit d'ailleurs son utilité, sans prévoir comment elle s'assemblera avec celles auxquelles elle doit être combinée, et comment on pourra, dans l'opération du levage, l'emmancher et la mettre en place; sans quoi la charpente projetée pourrait être inexécutable.

La rencontre de deux pièces de bois peut avoir lieu de trois manières, qui déterminent chacune des dispositions particulières dans leur assemblage :

I. Elles peuvent se rencontrer en formant un angle. Ce mode de rencontre présente trois cas : 1° le bout d'une pièce peut porter sur un point de la longueur de l'autre, c'est le cas le plus fréquent qui donne lieu à l'assemblage à *tenon* et *mortaise*, et à tous ceux qui en sont des modifications. 2° Les deux pièces peuvent se joindre mutuellement par leurs bouts sous un angle quelconque et sans se dépasser, ce qui forme les *assemblages d'angles*; 3° elles peuvent se croiser, elles s'assemblent alors par *entailles*.

II. Deux pièces de bois peuvent se joindre en ligne droite ou *bout à bout*, par le moyen de divers modes d'*entures*.

III. Enfin, deux pièces de bois peuvent être assemblées, en s'ajustant longitudinalement l'une contre l'autre ou *jumelées*.

Nous ne donnerons que des assemblages formés entre deux pièces de bois, parce que les assemblages d'un grand nombre de pièces sur un même point peuvent toujours être décomposés en assemblages de deux pièces.

L'assemblage à *tenon* et à *mortaise* est le principe du plus grand nombre des autres assemblages; c'est celui que nous décrirons en conséquence le premier et avec le plus de détails. Nous l'avons, par la même raison, représenté plus en grand que les autres dans les planches XIV et XV.

I

§ 1. Assemblage à tenon et à mortaise (1).

La fig. 1, pl. XIV représente, au moyen de trois projections, l'assemblage à *tenon* et à *mortaise*, le plus simple de deux pièces de bois *A* et *B* qui se rencontrent à angle droit. Dans la projection principale *AB*, faite sur un plan parallèle aux axes des pièces *mn*, *pq*, ou à leurs faces de parements, *A* est la pièce qui porte le tenon, *B* est celle dans laquelle la mortaise est creusée, le point *o* est la rencontre des deux axes. Cette projection peut être considérée comme horizontale; les deux autres projections, faites sur des plans perpendiculaires et parallèles aux faces normales, sont considérées comme des projections verticales. Dans toutes les projections les mêmes lettres désignent les mêmes pièces et les mêmes objets; elles sont affectées de l'exposant 1 sur la projection verticale couchée sur le haut de la figure, et de l'exposant 2 sur la seconde projection verticale couchée sur la gauche; cette notation est suivie sur toutes les planches pour les figures relatives aux détails des assemblages représentés par plusieurs projections.

La figure 2 représente, par des projections sur les mêmes plans, les mêmes pièces *A* et *B* désassemblées.

La projection verticale qui est représentée à droite et couchée en *A'*, présente la pièce *A* vue par le bout sur lequel est le tenon,

Le tenon *a* (2) est formé en saillie à l'extrémité de la pièce *A* dans la direction de ses fibres parallèles à l'axe *mn*, par deux entailles *f'g'h'* qui ont enlevé de chaque côté un parallépipède. Les plans entaillants, dirigés suivant le fil du bois sur les lignes *f''g''*, sont toujours parallèles aux faces de parements de la pièce assemblée; ils forment les *joues* du tenon.

Les deux autres plans entaillants, suivant les lignes *h'g'*, sont ordinairement perpendiculaires aux joues; ils sont nécessairement dans un même plan, ils forment les *abouts* de la pièce *B* parallèles à la face normale de la pièce *B*, contre laquelle ils doivent s'appliquer.

Lorsque la pièce *B*, au lieu d'être équarrie d'équerre, est débillardée,

(1) Les détails des assemblages ne sont point accompagnés d'échelles sur aucune planche, parce qu'ils se rapportent à des pièces de bois de toutes les grosseurs.

(2) *Tenon*, ainsi nommé parce qu'il sert à *tenir* la pièce *A* assemblée dans la pièce *B*.

le plan d'about de la pièce *A* est oblique et parallèle à la face de débillement de la pièce *B*, qui est substituée à la face normale.

La partie *f' f'* du tenon est son *bout*; celle *g' g'* par laquelle il tient à la pièce *A* par la prolongation d'une portion de ses fibres est sa racine.

La mortaise *b* (1) est creusée dans la face normale de la pièce *B* qui reçoit l'assemblage de la pièce *A*; elle est exactement en creux de la même forme et des mêmes dimensions que le tenon qui doit s'y loger et la remplir, afin que la pièce *A* soit inébranlablement assemblée. Les deux longs côtés de la mortaise, qui répondent à la largeur du tenon, doivent toujours être dirigés parallèlement au fil du bois. Les parois intérieures de la mortaise contre lesquelles s'appliquent les *joues* du tenon, sont aussi nommées *joues* de la mortaise. On nomme également *joues*, ou plutôt *jouées* de la mortaise, les épaisseurs de bois comprises de chaque côté entre la mortaise et la face de parement qui lui répond. Les *jouées* forment avec la mortaise sur la pièce *B*, l'occupation *vxyz* de la pièce *A*.

L'effort auquel un assemblage doit résister, agissant à peu près également sur le tenon et sur les jouées de la mortaise, la force du tenon doit être égale à celle de chaque jouée; il s'ensuit que l'épaisseur du tenon, ainsi que celle de chaque jouée doivent être égales au tiers de l'épaisseur de chacune des pièces assemblées, mesurée sur leurs faces normales.

La longueur du tenon, qui se compte toujours dans le sens de la profondeur de la mortaise, devrait être exactement égale à cette profondeur, afin que le *bout* portât au fond de la mortaise en même temps et avec la même pression que les bouts de la pièce *A* sur les jouées de la mortaise de la pièce *B*; mais, vu l'impossibilité de parvenir à une si grande perfection et attendu que les bouts de la pièce présentent en somme une surface beaucoup plus étendue que celle du *bout* du tenon, on tient toujours le tenon un peu plus court que la profondeur de la mortaise, pour qu'il ne s'écrase point si les abouts ou jouées cédaient à la pression.

Lorsque l'assemblage à tenon et à mortaise de deux pièces de bois est taillé, ajusté et mis en joint, on le traverse par une *cheville* (2) qui est marquée par un petit cercle sur la projection horizontale de la fig. 4, et par des lignes ponctuées pour les autres projections.

Une cheville de charpenterie est cylindrique; son diamètre doit être d'environ le quart de l'épaisseur du tenon ou des jouées. Le trou dans lequel

(1) *Mortaise*, du latin *mordere*, mordre.

(2) De *clavicula*, petite clef.

elle doit être chassée, et qui traverse les deux jouées de la mortaise et le tenon, est percé avec une tarière au tiers de la longueur du tenon à partir de sa racine, afin que la résistance du bois de fil sur lequel elle peut faire effort dans le tenon, soit à peu près égale à celle que lui opposent les bords des jouées de la mortaise de la pièce *B*. Ce trou est marqué par des petits cercles au tenon et à la mortaise des projections *A* et *B* de la fig. 2 et par des traits ponctués sur les autres projections.

La fig. 4 est le détail d'une cheville; elle est cylindrique de *b* en *c*, partie de sa longueur qui doit être comprise dans l'épaisseur de l'assemblage qu'elle aura traversé; sur environ un quart de sa longueur *c d*, elle est un peu conique afin de faciliter son introduction dans le trou qu'elle doit remplir. Cette sorte de pointe sert à repousser la cheville pour la faire sortir de son trou lorsqu'elle n'y a été placée que provisoirement. Sa tête *a b*, sur laquelle on frappe pour la faire entrer, est quelquefois terminée par une base carrée; elle a environ le quart de la longueur totale. Les chevilles sont toujours faites en bois dur et de fil fendu à la hache, elles sont ensuite arrondies avec le ciseau ou le rabot.

On ne doit jamais compter sur une cheville comme moyen d'attache d'une pièce de bois à une autre; l'immobilité d'un assemblage doit résulter de la précision avec laquelle il est coupé, et sa pression en joint doit être produite seulement par celle que les pièces exercent les unes sur les autres, par l'effet prévu des fonctions que chacune remplit dans la composition de la charpente où elle est employée. Les chevilles ne doivent servir que pour maintenir momentanément les pièces en joint sur le chantier et au levage. Une charpente assemblée et montée définitivement à sa place, doit être stable et solide sans le secours des chevilles; si elle tirait sa solidité de leur résistance, la rupture de l'une d'elles pourrait entraîner la chute de tout l'édifice. Les chevilles sont des auxiliaires utiles pendant le travail, mais qui ne doivent pas être nécessaires aux constructions, sinon pour la propreté de l'ouvrage, parce qu'elles bouchent les trous qui ont été faits pour s'en servir provisoirement. On les coupe à fleur des parements des pièces.

La fig. 5 comprend, sur les mêmes plans que dans la figure précédente, trois projections des pièces *A*, *B*, qui se rencontrent obliquement assemblées à *tenon* et à *mortaise*.

La fig. 6 représente, par les mêmes projections que dans la fig. 2, les mêmes pièces désassemblées. Le tenon *a* est taillé comme dans l'assemblage précédent et suivant la direction *m n* des fibres du bois de la pièce *A*. Si on lui eût conservé la forme entière d'un parallépipède, sa face

antérieure $f h$ serait dans le plan de la face normale $h i$ de sa pièce, et il faudrait que la mortaise de la pièce B fût refouillée dans ses parois antérieures dans la même direction suivant $f h'$. Plusieurs inconvénients résulteraient de cette disposition; d'abord le tenon a ne pourrait être mis dedans ou emmanché dans la mortaise b , qu'en poussant la pièce A suivant la direction $m n$ de sa longueur. Il s'ensuivrait que les tenons de plusieurs pièces déjà réunies par d'autres assemblages, et qui auraient des directions différentes et même contraires, ne pourraient être entrés dans les mortaises qui auraient été disposées suivant ce tracé pour les recevoir. C'est ce que la fig. 7 met en évidence. Deux pièces x et y étant assemblées l'une à l'autre en e , la forme de leurs tenons c, d , ne permet pas de les emmancher dans les mortaises de la pièce z , puisque la distance du point a au point b est plus courte que la distance du point e au point d .

En second lieu, si par l'effet de la fonction que doit remplir la pièce A , fig. 6 de la même planche XIV, elle faisait un très-grand effort, l'angle f de son tenon agissant comme un coin dans la mortaise, pourrait fendre la pièce B suivant $f k$. Enfin, la difficulté serait très-grande pour creuser le refouillement de la mortaise exactement suivant l'inclinaison $h' p$ qu'il devrait avoir. On a remédié tout d'un coup à ces inconvénients en tronquant la partie antérieure du tenon par un plan perpendiculaire au plan des axes et à la face de la pièce B . La position de ce plan dans la projection principale est marquée par la ligne $h i$ sur le tenon, et par la ligne $h' i'$ dans la mortaise. On voit que, par l'application de ce moyen aux deux pièces x, y , fig. 7, elles pourraient être emmanchées simultanément dans les mortaises de la pièce z . La partie $h i$ du tenon, fig. 6, est son *about*; la partie correspondante $h' i'$ de la mortaise est aussi l'*about* de la mortaise, et sa position perpendiculaire à la face de la pièce B ou à son axe, rend sa taille d'une exécution facile et exacte.

Telles sont les formes les plus simples des tenons et des mortaises pour les assemblages à angle droit et les assemblages obliques; mais, à l'égard de ces derniers, on a reconnu que la disposition que nous venons de décrire ne suffit pas pour qu'ils résistent aux efforts qu'ils peuvent éprouver dans les grandes charpentes. En effet, tout l'effort de la pièce A , qui tend à glisser sur sa portée, c'est-à-dire dans le sens $q p$ de la longueur de la pièce B , est supporté par l'*about* de son tenon et par celui de la mortaise. Le tenon peut n'être point assez épais pour résister à cet effort, et les fibres du bois qui sont obliquement coupées par le plan de l'*about* $h i$ du tenon, peuvent céder par l'effet de la pression plus facilement que ceux de l'*about* $h' i'$ de la

mortaise qui se présentent à bois debout, il se fait alors une dépression ou une déchirure à la racine du tenon marquée en s , fig. 8; cette détérioration du tenon en produit une autre aussi grave dans la pièce A , ses abouts, ayant à supporter un plus grand effort, se déchirent et se fendent en t , même figure, des deux côtés du tenon.

Pour prévenir les dégradations que nous venons d'indiquer et qui auraient dans les grandes charpentes les plus funestes conséquences, on *embrève* tous les assemblages obliques.

Assemblage par embrèvement. La fig. 1 de la planche XV représente trois projections d'un assemblage oblique à tenon et à mortaise, avec *embrèvement* entre deux pièces A et B .

La fig. 2 fait voir les mêmes pièces désassemblées; elles sont représentées par toutes les projections qui peuvent en donner une connaissance complète. Elles sont d'abord projetées horizontalement en A et B sur le plan parallèle à leurs axes $m n$, $p q$, ou à leurs faces de parement. En A^1 , B^1 , elles sont projetées verticalement sur un plan perpendiculaire au premier et aux arêtes de la pièce B , dont on voit le rectangle d'équarrissement en B^1 .

La pièce B est projetée verticalement en B^2 sur un plan parallèle à l'une de ses faces normales couché sur la gauche, et elle présente la face dans laquelle la mortaise et l'*embrèvement* sont creusés.

La pièce A se trouve projetée en raccourci en A^3 , sur un plan parallèle au précédent; elle montre le bout du tenon dans sa grandeur réelle; elle fait voir aussi de face les coupes des deux épaulements qui accompagnent ce tenon et s'embrèvent dans la pièce B . La même pièce A est projetée en A^4 sur un plan parallèle à ses faces normales, et couché au-dessus du dessin de manière à montrer le dessous de la pièce qui répond à la ligne $t v$. Enfin, en A^5 , la pièce A est projetée sur un plan également parallèle à ses faces normales, mais couché en dessous du dessin, de manière à montrer la face de dessus, qui répond à la ligne $h i$.

Un *embrèvement* est une entaille faite dans la face de la pièce B , qui reçoit l'assemblage, suivant les lignes $k' k'$, $k' l'$, qui sont sur les faces du parement les traces des deux plans entaillants. La partie antérieure de l'*embrèvement* répondant à $k' k'$ est dans le même plan que l'about de la mortaise marqué $k' e'$; elle a environ le quart de sa profondeur. Aux deux parties de l'occupation ou portée qui étaient dans la face normale de la pièce B , et qui répondaient aux joues de la mortaise, sont substitués les pas de l'*embrèvement* qui prennent une inclinaison marquée par $k' l'$.

L'entaille d'*embrèvement* reçoit les épaulements laissés des deux côtés du

tenon suivant l'angle hkl . Les parties antérieures de ces épaulements répondant à hk , et qui forment l'about de la partie de la pièce A *embrévée*, sont dans le même plan que l'about du tenon répondant à ke . L'about kr de la pièce A , fig. 6 de la planche précédente, est remplacé par la semelle d'embrèvement kl .

Il résulte de cette disposition que la résistance de l'about du tenon est accrue de celle que l'about d'embrèvement tire des épaulements, l'about total présente une surface qui est d'un tiers plus grande que celle de l'about du tenon. Cet about total est représenté selon sa véritable étendue en A^6 , la pièce A se trouvant projetée sur le plan de cet about. La force qu'un embrèvement donne à un assemblage vient aussi de ce que les fibres de la pièce A répondant à l'about d'embrèvement hk , sont retenues par l'about de l'entaille d'embrèvement $k'k'$ de la pièce B , et qu'ils ne peuvent plus se lever par éclats, comme les abouts sans embrèvement, fig. 8, pl. XIV.

On donne quelquefois à l'about d'embrèvement la direction ponctuée $k'x$, fig. 1, qui divisent en deux parties égales l'angle que forment les pièces A et B . Cette disposition, qui aurait l'avantage de faire présenter les fibres des deux pièces de la même manière en about, a cependant l'inconvénient de donner lieu à une coupe difficile pour que l'about d'embrèvement soit plan et d'accord avec celui du tenon, à moins qu'on ne donne aussi la même direction $k'xy$ à celui-ci; ce qui introduirait une difficulté pour la coupe de l'about de la mortaise qui ne serait plus perpendiculaire à la face de la pièce B . Cette direction $k'xy$ diminue aussi de beaucoup l'étendue du tenon, ce qui n'est pas toujours sans inconvénient.

Il arrive quelquefois que la pièce A n'a pas une épaisseur égale à celle de la pièce B , et que, par conséquent, leurs faces de parement ne sont point dans les mêmes plans, quoique toujours dans des plans parallèles. La figure 4 de la planche XV représente les projections d'un assemblage oblique à tenon et à mortaise avec embrèvement pour deux pièces A , B , qui ne sont point d'épaisseurs égales.

La fig. 5 représente les mêmes pièces désassemblées et projetées de la même manière que sur la fig. 2. Les mêmes lettres avec les mêmes exposants marquent les mêmes projections faites dans le même sens.

Dans le cas dont il s'agit, l'embrèvement a lieu par *encastrement*, c'est-à-dire qu'il forme dans la face B^2 de la pièce B , qui reçoit l'assemblage, une sorte de *cuvette* carrée et en pente, dans laquelle les deux épaulements du tenon de la pièce A se trouvent *encastrés*.

Lorsqu'on est forcé d'assembler la pièce A en la portant, par rapport à

la pièce *B*, plus d'un côté que de l'autre, il peut arriver que l'embrèvement ne soit encastré que d'un côté de la pièce *B*, et qu'il soit apparent de l'autre.

Les embrèvements ont le grand avantage d'ajouter une force extrême aux assemblages par un moyen très-simple, d'une exécution très-facile et qui permet la plus parfaite exactitude, puisque les parties essentielles des embrèvements, celles par lesquels les contacts ou joints doivent s'effectuer sont toujours des plans que les outils peuvent dresser sans aucun obstacle. C'est pour obtenir ce résultat que le pas d'un embrèvement sur la pièce *B*, fig. 1, 2, 4, 5 de la planche XV, est toujours fait en rampe, et que l'about est ordinairement à angle droit avec la face qui reçoit l'assemblage, l'angle droit étant le plus facile à tailler pour creuser la mortaise.

On assemble quelquefois les pièces de bois carrées à simple *embrèvement* sans tenon ni mortaise; c'est le cas représenté par une seule projection, fig. 3. La pièce *A* est assemblée à la pièce *B* par un *embrèvement* simple dont l'about *xv* est perpendiculaire à cette pièce. La pièce *C*, en tout égale à la pièce *A*, est écartée hors de joint de la pièce *B* pour faire voir la coupe de l'embrèvement simple.

On peut incliner l'about de l'*embrèvement* suivant la ligne *xy* qui divise l'angle d'assemblage en deux parties égales, ou suivant la ligne *xz* perpendiculaire aux arêtes de la pièce *A*.

Lorsque la pièce assemblée fait avec celle qui la reçoit un angle fort aigu, son occupation de *x* en *r* devient fort longue; on est alors dans l'usage de faire des embrèvements à crans. Le nombre de ces crans ou abouts dépend de l'étendue du joint. La fig. 3, planche XVI, représente un *embrèvement à deux abouts* qui peut être employé avec ou sans tenon; les abouts d'embrèvement *uv*, *xy* entre les deux pièces *A* et *B* sont parallèles. Les *semelles* et *pas* d'embrèvement *vx*, *yz* sont également parallèles. Mais il est à craindre que l'effort de l'about *xy* de la pièce *A* fasse éclater suivant le fil de la pièce *B*, le triangle *vxy*. Il est préférable de tracer cet embrèvement comme il est indiqué fig. 7, dans laquelle le pas *v* *x* de la première partie de l'embrèvement est parallèle à la face d'assemblage de la pièce *B*. Ce qui fait que l'about *xy* de la pièce *A* porte à bois debout sur des fibres qui ne sont point coupées.

Joint anglais. On fait aussi des *embrèvements* divisés en deux parties sur la largeur du joint, séparées par un espace qui forme *plat joint*. Cet assemblage est représenté par quatre projections, fig. 6 de la pl. XV; l'embrèvement est à peu près le même que celui de la fig. 1 et 2, même planche, sinon qu'il est sans tenon ni mortaise, son about *xy* est plan,

ou cintré suivant un arc de cercle décrit du point g comme centre; on lui donne pour profondeur les deux cinquièmes de l'épaisseur de la pièce B . Les deux embrèvements occupent chacun un tiers de l'épaisseur des pièces de bois. Cet assemblage, appelé *joint anglais*, représente quelques difficultés d'exécution pour tenir dans une même surface les deux abouts d'embrèvement de la pièce B , des deux côtés du bois plein qui les sépare. Il peut aussi occasionner la fente de la pièce A , et surtout le déchirement dans la face supérieure de la partie $t t$ qui répond à l'entre-deux des embrèvements si les abouts $x y$ sont refoulés.

Assemblage à enfourchement. Les charpentiers anglais font encore usage d'un autre assemblage à enfourchement, représenté par une seule projection, fig. 7, pl. XVI, pour la jonction de la pièce E avec la pièce D . Les deux tiers de la longueur du joint de u en r portent deux fourchons qui ont chacun pour épaisseur un tiers de celle de la pièce E ; ils sont reçus dans des entailles d'embrèvement $r v u$ des deux côtés sur les faces de parement de la pièce D ; leurs abouts $r v$ sont à angle droit avec les arêtes de la pièce E ; le reste du joint et l'entre-deux des fourchons sont dans un même plan $u t$ qui pose à plat-joint sur la face d'assemblage de la pièce D . Cette disposition peut donner lieu à une fente dans la direction $r s$, inconvénient auquel on peut remédier en faisant un embrèvement simple en t . Les mêmes charpentiers emploient encore un assemblage à enfourchement beaucoup meilleur, qui est représenté par une seule projection, même figure, pour la jonction de la pièce O avec la pièce D . Les fourchons de la pièce O occupent chacun le tiers de l'épaisseur de cette pièce. Ils forment deux larges joues qui embrassent la pièce B en s'embravant dans les entailles $y z v$ creusées pour les recevoir sur les faces de parement de cette pièce. Les deux abouts sont arrondis suivant une surface cylindrique qui a pour base un arc de cercle $x z$ de 60 degrés décrit du centre c , qui comprend toute la largeur de la pièce O et met en about toutes ses fibres. L'entre-deux des fourchons ou joues de cet assemblage est coupé en pente comme un embrèvement ordinaire suivant la ligne $v y$, pour lui donner un about dans la même surface cylindrique qui forme les abouts des fourchons, et seulement sur une étendue $x y$, qui est à peu près le quart de l'arc $x z$.

Ce joint présente par ses abouts une surface beaucoup trop grande par rapport à la résistance qui leur est nécessaire quelle que soit leur situation; il est précisément à le contraire de l'assemblage à tenon et à mortaise; il a l'inconvénient de couper par ses entailles dans la pièce D un plus grand

nombre de fibres que n'en couperait une simple mortaise; cet inconvénient peut n'être pas très-grave, si, par exemple, la pièce *D*, étant horizontale, doit être soutenue par la pièce *O*. Mais il n'en serait pas de même si, dans cette position, elle avait à supporter quelque poids ou l'effort que lui transmettrait la pièce *O*.

Cet assemblage est, au surplus, d'une exécution difficile pour couper les surfaces cylindriques qui doivent former les abouts convexe et concave avec précision et obtenir entre elles un contact parfait; ce qui nous donne sujet de remarquer qu'un joint n'est complètement bon, qu'autant qu'il peut être taillé avec précision du premier coup; autrement, si l'on est obligé de tâtonner et d'ôter du bois pour corriger les imperfections qui sont la suite de la difficulté de tailler exactement ses diverses parties, on risque de raccourcir trop la pièce qui doit être assemblée, ou de faire un joint trop lâche sur celle qui doit la recevoir.

L'embrèvement compris entre les deux fourchons de ce joint fait disparaître l'un des défauts de l'assemblage de la fig. 6, pl. XV. Mais il ne remédie point au danger de l'éclatement des fourchons par l'effet d'un effort de torsion que quelque accident pourrait occasionner, vu qu'ils ne sont point soutenus comme le sont les embrèvements des épaulements des tenons par la cohésion des fibres qui n'est point interrompue sur toute l'épaisseur du bois. L'assemblage à tenon et à mortaise avec embrèvement lui est en tout point préférable.

Le même mode d'about cylindrique est appliqué par les charpentiers anglais à presque tous les assemblages, même entre deux pièces qui se rencontrent à angle droit comme celui de la fig. 4, même planche, dans lequel le joint de la pièce *A* avec la pièce *B* a pour trace sur les faces de parement l'arc de cercle xyz de 120 degrés, soit que l'embrèvement occupe toute l'épaisseur de la pièce *B*, soit qu'on l'ait fait par enfouchement. Quelquefois l'embrèvement est formé par deux plans qui ont pour traces les lignes droites xz , zy . Les avantages de cette sorte d'embrèvement ne compensent pas le soin qu'exige son exécution.

Assemblage à oulice. La fig. 11, pl. IX, représente l'assemblage à tenon, dit à *oulice*, d'une pièce de bois verticale *J* dans la pièce inclinée *F*. Le tenon à *oulice*, xyz , est triangulaire et coupé carrément au bout, il a pour épaisseur le tiers de celle de la pièce. On voit en *J'* le tenon à *oulice* désassemblé, une seconde pièce *I* est assemblée à *oulice* en dessous de la pièce *F* dans le prolongement de celle *J*.

La fig. 7, pl. X, représente l'assemblage à *oulice* avec about ou em-

brèvement. L'about de l'embrèvement est dans le même plan que celui du tenon. En J^1 la pièce J est désassemblée, en J^2 elle présente sa face d'assemblage, en J^3 elle est vue par le bout. Au-dessous de l'assemblage de la pièce J est une entaille d'embrèvement et une mortaise ponctuée, destinées à l'assemblage d'une autre pièce à *oulice*. Cette espèce d'assemblage ne s'emploie que dans les pans de bois. Nous aurons occasion d'en parler au chap. X.

Assemblage des bois ronds. Les bois ronds peuvent être assemblés à tenon et à mortaise comme les bois carrés, mais ils donnent lieu à quelques détails qu'il est utile d'étudier.

La fig. 1 de la planche XVI présente trois projections de l'assemblage à angle droit de deux pièces de bois rondes ou cylindriques A , B , de même diamètre. La fig. 2 présente les mêmes pièces désassemblées.

La fig. 5 représente trois projections de l'assemblage oblique de deux pièces cylindriques A , B , égales.

La fig. 6 représente les projections des mêmes pièces désassemblées.

On peut remarquer que dans ces assemblages; comme dans les précédents, les deux axes $m n$, $p q$, des pièces sont dans un même plan, que les deux pièces sont comprises entre deux plans parallèles à celui de leurs axes et qui leur sont tangents; on voit que le joint est nécessairement circonscrit par courbes d'intersection des deux surfaces cylindriques. Dans les cas de l'égalité de grosseur des deux pièces, comme dans nos figures, les courbes sont planes et projetées horizontalement par les lignes droites $g m$, $f m$, suivant lesquelles on ferait l'entaille dans la pièce B et l'about de la pièce A , si la jonction devait être faite par simple entaille, sans tenon ni mortaise. On retrouve dans les deux assemblages les mêmes dispositions intérieures des joints, que dans les assemblages des pièces carrées des fig. 1, 2, 5 et 6 de la planche XIV; les tenons, les mortaises, les abouts et les pas sont combinés de la même manière, il n'y a plus que l'embrèvement et les deux tenons ou fourchons extérieurs résultant naturellement des dosses qui sont l'excès des formes cylindriques sur celles prismatiques des pièces carrées.

L'équarrissement des pièces après leur assemblage ne changerait rien à la disposition des tenons et mortaises et laisserait des assemblages pareils à ceux figurés planche XIV. Ce qui fait voir de rechef que l'équarrissement produit une simplicité qui l'a rendu indispensable, aussi bien sous le rapport de la disposition des assemblages que sous celui de la facilité de leur exécution.

Nous ne donnons point de figures pour les cas des assemblages entre pièces rondes de grosseurs inégales ou entre pièces rondes et carrées, parce qu'il est aisé de conclure leurs formes de ce que nous venons d'exposer.

Après les détails que nous avons donnés, une simple légende suffira pour la description de tous les assemblages, qui sont d'ailleurs suffisamment détaillés dans des projections du même genre que celles des figures précédentes. Dans chaque figure la même lettre désigne la même pièce sur ses diverses projections, distinguées d'ailleurs par des exposants numériques comme cela a déjà été dit.

Le plus souvent, la même figure représente des pièces assemblées et des pièces désassemblées, elles sont marquées des mêmes lettres, et la distinction en est facile vu leur position. Lorsqu'une projection est commune à plusieurs pièces de bois, elle porte toutes les lettres dont ces pièces sont marquées dans les autres projections.

La fig. 1, pl. XVII, présente des assemblages à doubles tenons et mortaises. La pièce *A* est assemblée à angle droit dans la pièce *B*; la pièce *E* fait un autre angle avec la même pièce. On peut faire aussi des assemblages à tenons et mortaises triples et même plus nombreux; cependant la multiplicité des tenons et des mortaises affaiblit l'assemblage. En général, les épaisseurs des tenons, les largeurs des mortaises et de leurs joues sont égales, et pour les obtenir on divise l'occupation de la pièce assemblée en autant de parties qu'il y a de mortaises et de joues, compris celles qui séparent les mortaises. Toutes les autres projections demeurent les mêmes que dans l'assemblage à tenon et mortaise simples. Nous n'avons point compris dans cette figure l'assemblage avec embrèvement que l'on emploie aussi avec les tenons doubles et triples, parce qu'il se pratique de la même manière que pour l'assemblage à tenon simple.

Fig. 2 assemblages à *paume*. Les pièces *A*, *E*, horizontales, sont supportées par leurs *paumes* dans les entailles de la pièce *B*, aussi horizontale; la pièce *A* est assemblée à angle droit dans la pièce *B*; la pièce *E* est assemblée obliquement. La coupe inclinée de l'entaille qui reçoit une *paume* a pour objet de n'affaiblir la pièce *B* que le moins possible. Mais cet assemblage a l'inconvénient de faire exercer par les pièces *A* et *E* une poussée contre la pièce *B*. On remédie à cet inconvénient en contre-boutant la pièce *B*.

On ajoute quelquefois à cet assemblage un tenon qui est figuré en lignes ponctuées.

Fig. 3, assemblage à tenon avec renfort en *chaperon*. Cet assemblage et

les suivants ne sont figurés que par une projection verticale de la pièce *A* suivant sa longueur, et une coupe de la pièce *B*. Les deux pièces sont désassemblées.

Fig. 4, même assemblage avec *about carré* au-dessus du renfort en chaperon, pour que la mortaise de la pièce *B* ne soit pas terminée supérieurement par une arête aiguë.

Fig. 5, assemblage à tenon avec *renfort carré*. En général, lorsque les renforts des tenons sont placés en-dessus, ils ne consolident que les tenons, et un excès de charge sur la pièce *A* peut la faire fendre en *x* à la racine du tenon.

Fig. 6, assemblage à *tenon* avec *renfort* qui remédie à l'inconvénient signalé ci-dessus, parce que la surface inférieure *z y* de la pièce *A* porte dans la mortaise de la pièce *B*; la jouée inférieure *t v* de la mortaise a ordinairement toute la force nécessaire pour porter la pièce *A*, vu qu'on donne à la pièce *B* une épaisseur suffisante, qui peut être plus grande que celle observée sur la figure.

Fig. 7, assemblage avec tenon à *chaperon* et *renfort*.

Fig. 8, assemblage à *double repos*.

Fig. 9, assemblage à *paume* avec *repos*.

Fig. 9, pl. XVIII, assemblage à *double paume* et *double repos*.

Fig. 10, pl. XVII, assemblage à *entaille carrée*.

Fig. 11, assemblage à *mors-d'âne*. Ces deux assemblages ont le même inconvénient que celui de la fig. 5.

Fig. 12, assemblages à *tenons à biseaux*. La pièce *E* est assemblée dans la pièce *B* par un tenon ordinaire et par un tenon qui effleure une face de parement; ce tenon est taillé sur ses côtés en biseaux pour qu'il ne puisse pas échapper de l'entaille ouverte dans la face de parement de la pièce *B*, qui lui sert de mortaise.

La pièce *A* est assemblée dans la pièce *B* par deux tenons apparents pareils à celui à biseaux de la pièce *E*.

Fig. 13, assemblages à tenons *passants*.

La pièce *A* est assemblée dans la pièce *B* par un tenon simple qui dépasse cette pièce, suffisamment pour qu'on puisse le traverser par une clef *x* qui le serre en joint et le retient. Dans la même figure, la pièce *E* est assemblée dans la pièce *B* à tenon double, également passant et traversé pareillement par une clef *y*.

Cette clef a beaucoup plus de solidité que n'en aurait une cheville; on peut lui donner une plus forte dimension surtout en épaisseur, et l'on fait dépasser les tenons de la pièce *B* de toute la longueur qu'on reconnaît nécessaire

pour que le bois sur lequel la clef fait effort en z ne soit point arrachée. On donne aux clefs x et y une forme légèrement en coin pour qu'on puisse les serrer fortement à coups de maillet.

Fig. 14, assemblage à tenons *passants* et *apparents*.

Les tenons apparents qui affleurent les faces du parement ont la même forme que ceux de la fig. 12.

La pièce A porte deux tenons de cette sorte, la pièce E porte en outre un tenon passant intermédiaire. Ces tenons sont traversés comme précédemment par des clefs x et y qui sont elles-mêmes traversées par des petites clavettes t, v pour maintenir les tenons apparents dans les parties où ils dépassent la pièce B ; au moyen de ces clavettes on pourrait se dispenser de tailler les tenons des parements en biseaux et les laisser carrés.

Fig. 15, pl. XVII, assemblage à *tenon* et *mortaise sur l'arête*.

La pièce A est assemblée d'équerre sur la pièce B , de telle sorte que l'une et l'autre présentent des arêtes uv, zt , en parement au lieu de faces, et que les quatre arêtes de l'une rencontrent les quatre arêtes de l'autre. Si la pièce assemblée A était d'un équarrissage plus faible que la pièce B , deux de ses arêtes seulement rencontreraient dans un même plan deux arêtes de la pièce B . Cet assemblage nécessite deux embrèvements triangulaires xy et deux recouvrements également triangulaires yz ; le passage des deux embrèvements aux deux recouvrements a lieu sur le joint de chaque pièce dans le plan d'un rectangle yy , dans lequel se trouve le tenon de la pièce A et la mortaise de la pièce B . Ce rectangle est l'about de l'assemblage. Sur le côté des projections principales la pièce A est représentée en A et A' dans le même sens désassemblée. Dans la projection verticale B^2 couchée sur la gauche, la pièce B est figurée désassemblée aussi, elle montre sa mortaise. Cet assemblage a beaucoup d'analogie avec des bois ronds, fig. 1 et 2 de la pl. XVI.

Nous ne donnerons point d'exemple de cet assemblage pour le cas où les pièces A et B se rencontreraient obliquement, parce qu'il se rapproche de celui des fig. 5 et 6 de la même planche, et qu'il est très-aisé de s'en former une idée.

Dans la charpenterie navale, on substitue aux tenons et mortaises qui pourraient ne pas avoir assez de solidité, des assemblages à *plat-joint* m *n* fig. 35, pl. XXIII, maintenus par des espèces de *goussets* L , qui sont fortement boulonnés aux pièces assemblées P et Q , quel que soit l'angle que ces pièces font entre elles. Ces *goussets*, nommés *courbes*, sont ordinairement des pièces naturellement cintrées. On choisit autant que possible des coudes

formés par les jonctions des branches entre elles ou avec le tronc; à défaut de ces cordes, si l'on emploie du bois droit, le fil doit se trouver parallèle à la ligne xz . Si le cas l'exigeait, au lieu de la courbe L , on pourrait en établir une en l , et même les employer toutes deux simultanément.

§ 2. Assemblages à queues d'hironde.

Dans les assemblages à queues d'hironde, le tenon, au lieu d'entrer directement dans sa mortaise par la face normale de la pièce qui reçoit l'assemblage, est introduit latéralement dans une entaille faite dans la face de parement de cette pièce. La queue d'hironde s'emploie lorsque l'assemblage doit résister à un effort de traction dans le sens de la longueur de la pièce assemblée.

Fig. 16, pl. XVII, assemblage à queue d'hironde de la pièce A à angle droit dans la pièce B . L'épaisseur de la queue d'hironde est de la moitié de celle de la pièce A , et elle se loge en entier dans la pièce B . Son rétrécissement de chaque côté est un cinquième de la largeur de la pièce A , de façon que sa racine ou collet est des trois cinquièmes de cette même largeur; le devant de la queue d'hironde occupe toute la largeur de la même pièce. Le collet a les trois dixièmes de la surface d'équarrissement de la pièce A ; le bout de la queue est égal à la moitié de cette même surface d'équarrissement. Lorsque la pièce A est étroite ou que le collet de la queue d'hironde a un grand effort à supporter, on ne donne au rétrécissement de chaque côté que le dixième de la longueur de la queue d'hironde, afin que les joues xy soient peu inclinées, et que l'effort auquel elles doivent résister ait moins de puissance pour les faire éclater suivant la direction des fibres du bois xz .

La pièce E est assemblée dans la pièce B de la même manière, si ce n'est qu'elle la rencontre obliquement. Souvent, lorsque l'obliquité est trop grande, on ne taille la queue d'hironde que du côté de l'angle aigu, comme on l'a fait pour la queue d'hironde oblique à clef, fig. 1. pl. XVIII.

Fig. 17, assemblage de la pièce A dans la pièce B à queue d'hironde à recouvrement. La queue d'hironde n'occupe que la partie inférieure de la pièce A sur la moitié de son épaisseur; elle se loge en entier dans la pièce B sur laquelle le reste de l'épaisseur de la pièce A s'applique. Le tracé de la queue d'hironde est le même. En A° la pièce A est projetée désassemblée et vue par-dessous sur la face dans laquelle la queue d'hironde est taillée.

La pièce *E* est assemblée dans la pièce *B* à queue d'hironde, avec un renfort au collet qui règne sur les côtés ainsi qu'en dessous, et affleure le dessus de la pièce *B* comme dans l'assemblage de la pièce *A*, fig. 16.

Lorsque la pièce *E* doit supporter une charge, il est convenable que son about forme le renfort de la queue d'hironde en pénétrant dans la pièce *B*, qui doit être alors plus épaisse qu'elle, comme dans l'assemblage à tenon de la fig. 6.

Pl. XVIII, fig. 1, assemblage de la pièce *A* dans la pièce *B* en queue d'hironde à clef. La queue d'hironde, qui a l'épaisseur précédemment fixée pour un tenon, traverse la mortaise de la pièce *B*. Elle est échancrée d'un côté seulement, comme une queue d'hironde ordinaire; le côté correspondant de la mortaise est évasé suivant la même inclinaison, l'autre côté est droit. L'entrée de la mortaise est égale à la largeur *p q* de la pièce *A* afin que la queue d'hironde puisse y passer. Lorsque la queue est placée dans la mortaise, on remplit le vide qu'elle laisse par une clef *x* introduite par la face d'assemblage de la pièce *B* pour qu'elle serre mieux; on la chasse à coups de maillet, tellement que le tenon à queue est solidement fixé en joint, et ne peut plus sortir de la mortaise.

La pièce *E* est assemblée dans la pièce *B* de la même manière, mais obliquement. En $A^2 B^2 E^2$ les pièces *A*, *B*, *E*, sont projetées verticalement et vues du côté de la face d'assemblage de la pièce *B*.

Les assemblages à queues d'hironde sont souvent combinés avec ceux à entailles des bois qui se croisent dont nous parlerons au paragraphe 8.

§ 3. Assemblages d'angle.

Fig. 2, pl. XVIII, assemblage par simples entailles à mi-bois entre les pièces *A* et *B*, formant un angle d'équerre. La pièce *E* est assemblée de même par entaille, mais elle ne forme point l'angle, ne se trouvant point à l'extrémité de la pièce *B*, qui est projetée verticalement sur la gauche en B^2 , étant supposée désassemblée.

Fig. 3, assemblage à entailles et anglets ou onglets de la pièce *A* et de la pièce *B* formant équerre (1).

L'épaisseur des pièces est divisée en trois parties, les deux premières en dessous forment l'assemblage à entailles, la troisième est taillée diagonale-

(1) Cet assemblage est dit à anglet ou onglet, parce que le joint fait un petit angle, ou que chaque pièce se trouve terminée par une forme qui ressemble à un petit angle.

ment pour former l'onglet sur les deux pièces. La coupe d'onglet d'une pièce s'applique exactement contre la coupe d'onglet de l'autre, ce qui forme le joint symétrique $x y$ qui donne une meilleure apparence à l'assemblage que s'il était d'équerre comme celui de la figure 2.

Fig. 4, assemblage à onglets avec tenons. Les deux pièces A et B se joignent suivant les coupes d'onglet $x y$, dans lesquelles sont ménagés des tenons et des mortaises combinés de telle sorte, que les intervalles que les tenons laissent entre eux sur une pièce servent de mortaises pour recevoir les tenons de l'autre pièce.

Fig. 4, assemblage d'angle à queues d'hironde simples, entre les pièces projetées horizontalement en A et B . La pièce A porte les queues d'hironde qui entrent dans les entailles faites pour les recevoir sur le bout de la pièce B . Les projections A^1 et B^1 font voir les mêmes pièces sur leurs faces verticales, assemblées et désassemblées. A^2 est le bout de la pièce A ou A^1 sur lequel on voit les bouts des queues d'hironde. Dans les projections B^1 et B^2 on voit les entailles faites sur le bout de la pièce B pour recevoir les queues d'hironde. Dans cet assemblage les queues d'hironde sont sur les deux faces extérieures des pièces, qui répondent aux lignes $m x$, $n x$ de la projection horizontale.

Fig. 6, assemblage d'angle à queues d'hironde à recouvrement. Cet assemblage ne diffère de celui représenté fig. 4, qu'en ce que des queues d'hironde sont substituées aux tenons. Le bout de la pièce A porte, comme dans la fig. 5, les queues d'hironde qui sont en saillie, sur la coupe d'onglet $x y$. Elles sont vues désassemblées en A^1 . Les entailles pour recevoir les queues d'hironde sont pratiquées dans la coupe d'onglet $x y$ du bout de la pièce B . Ces entailles sont vues dans la projection B^2 qui présente la face interne de la pièce B . Les entailles ou mortaises des queues d'hironde extrêmes étant rencontrées par le plan de la coupe d'onglet, ont les bords de leurs joues $s u$, $t v$, inclinés, tandis que la partie intermédiaire z est prismatique et droite, et son about $m n$ porté carrément dans le fond de la mortaise o en queue d'hironde de la pièce A , qui n'est pas dans le plan $x y$ de l'onglet, mais parallèle aux faces de la pièce A .

Fig. 7, assemblage d'angle de deux pièces A , B , à tenon et mortaise avec joint en onglet.

On fait quelquefois des assemblages d'angle en onglet à plat joint, qu'on se contente de consolider en les clouant ou en introduisant dans le milieu de l'épaisseur du bois un pigeon triangulaire $u x v$, fig. 3, qui fait l'office de faux tenon dans les deux pièces; ou bien on traverse le joint diagonalement par

une clef *u t s v* ponctuée, chassée de force dans une mortaise perpendiculaire au plan *xy* ou dans une entaille creusée suivant la même direction sur l'un des côtés de l'assemblage, et qui l'enchâsse pour qu'elle ne puisse s'en écarter.

Fig. 8, pl. XVIII, assemblage à *tenon et mortaise avec recouvrement à onglet double*. Cet assemblage est employé par les menuisiers pour les petits bois des croisées, les charpentiers en font usage aussi pour les grands grillages apparents. Les pièces *A, E*, sont assemblées au même point dans la pièce *B*, et se correspondent de façon que leurs arêtes sont en ligne droite *a b*, leurs tenons s'aboutent mutuellement.

Lorsqu'une seule de ces deux pièces est assemblée dans la pièce *B*, on peut donner à son tenon un peu plus de longueur, et lui faire dépasser l'angle de l'onglet. La pièce *A*° est désassemblée, la projection *B*° donne la mortaise.

Dans la figure que nous donnons de cet assemblage, les faces de parement sont délardées par deux chanfreins qui forment une arête au milieu de chaque pièce. Quelquefois les chanfreins sont remplacés par diverses moulures. Les autres faces de parement postérieures sont planes, mais si l'assemblage doit faire façade des deux côtés, on peut les tailler aussi en chanfrein ou les décorer de moulures, et ajouter à l'assemblage des recouvrements à onglets, comme ceux que nous avons tracés sur les faces de parement antérieures.

II

§ 4. Entures horizontales.

Enter deux pièces de bois, c'est les joindre dans la direction de leurs longueurs, au moyen d'entailles nommées *entures*. Pour enter deux pièces de bois, il faut qu'elles soient exactement *entignées*, c'est-à-dire qu'elles aient la même forme, en sorte qu'étant assemblées bout à bout l'une ne paraisse que la continuation de l'autre. Le tracé des *entures* dépend de la position des *entes* ou pièces entées qui peuvent être horizontales ou verticales.

La fig. 1, pl. XIX, est une *enture à mi-bois avec abouts carrés* entre deux pièces *A, B*. Dans la même figure les pièces *E, D*, sont assemblées à *enture à tenon et entaille bout à bout*, dite *enture en tenaille*, ces deux assemblages ont la même projection horizontale; dans celui des pièces *E, D*, on peut faire plusieurs tenons.

Fig. 2, *enture à mi-bots en queues d'hironde* entre les pièces *A, B*.

Fig. 2, enture à *mi-bois en queues d'hironde et à recouvrements* entre les pièces *E, D*.

Fig. 4, enture à *mi-bois avec tenons d'about*.

Dans l'assemblage des pièces, *A* et *B* projetées verticalement en *A', B'*, le joint est horizontal et parallèle aux faces de parement. On met en joint en poussant les pièces l'une vers l'autre longitudinalement. Dans l'assemblage entre les pièces *E, D*, projetées en *E', D'*, le joint est incliné par rapport aux faces, l'on met en joint latéralement.

Fig. 5, enture à *mi-bois avec abouts en coupe* (1), entre les pièces *I, F*.

Fig. 6, enture à *mi-bois avec abouts carrés et tenons réservés*, entre deux pièces *A, B*. Sur chaque bout le tenon occupe la moitié de l'épaisseur de l'about et le tiers de sa largeur; les mortaises sont refouillées dans les fonds des entailles. Le contraire pourrait avoir lieu, les tenons pourraient être réservés en saillies sur les entailles et les mortaises creusées dans les abouts, mais il n'en résulterait plus le même effet. Les tenons réservés, comme ils sont représentés sur la figure, ont pour objet, comme les abouts en coupe de la fig. 5, de retenir les abouts en joints, pour qu'ils ne s'écartent point de la direction des pièces.

Fig. 7, enture à *mi-bois avec abouts en coupe et brisés* entre les pièces *E, D*. Cet assemblage remplit le même but que le précédent, peut-être un peu moins solidement, mais il est d'une exécution beaucoup plus facile.

Fig. 15, pl. XXI, même assemblage entre les pièces *A, B*, traversées par une clef *x y* qui les maintient en joint.

Fig. 8, pl. XIX, enture à *mi-bois avec rainures et languettes intérieures*. La longueur du joint est partagée également en deux; sur chaque pièce, la partie qui répond au bout est creusée en rainure, celle qui est dans le fond de l'entaille porte la languette. Cette disposition a pour objet de s'opposer à tout mouvement latéral. Le contraire pourrait avoir lieu, il en résulterait que les deux pièces, une fois assemblées, ne pourraient pas plus s'écarter dans le sens de leur longueur que latéralement; mais cet avantage ne contre-balancerait peut-être pas l'inconvénient d'une coupe plus difficile pour les rainures; il est obtenu par l'assemblage de la fig. 12.

On peut combiner l'assemblage de la fig. 8 avec ceux des fig. 6 et 7.

(1) On dit qu'un about est en coupe, lorsque le plan qui le termine est incliné de façon que l'about assemblé se loge en-dessous de celui qui reçoit l'assemblage et s'y trouve retenu.

Fig. 9* (1), enture en *fausses coupes avec tenons inverses, abouts en coupe et brisés*. Les deux pièces *E* et *D* sont exactement coupées de la même manière, le rampant de chaque tenon se trouve dans le même plan que le rampant de la mortaise qui est en arrière; cet assemblage dont les dispositions sont réciproques entre les deux pièces, est d'une exécution facile. Il est susceptible d'être chevillé.

Fig. 10, enture à *coulisse en queue d'hironde avec abouts en coupe*. La languette en queue d'hironde est formée sur la pièce *A*; la rainure pour recevoir cette languette est creusée dans la pièce *B*. On pourrait disposer cet assemblage de façon que chaque ente porterait une rainure à queue d'hironde et une languette également à queue d'hironde; elles seraient alors disposées comme les rainures et languettes simples de l'assemblage de la fig. 8.

Fig. 11, enture à *endens*. On met en joint en posant le bout de la pièce *E*¹ sur le bout de la pièce *D*¹.

Fig. 12, enture à *endens avec rainures et languettes* entre les pièces *A*¹, *B*¹. Les languettes sont ménagées dans les endentures creuses, et les rainures sont faites dans les endents saillants.

Fig. 13, enture *avec endens en queues d'hironde* sur les faces de parement des pièces *E*¹, *D*¹. On ne peut mettre en joint qu'en présentant les pièces l'une à l'autre latéralement. Les coupes doivent être faites avec beaucoup de précision et assez serrées pour qu'on soit obligé d'assembler à petits coups de masse.

Fig. 5, pl. XXII. Même assemblage *avec coupes biaisées*, pour que le joint se serre de lui-même. On descend la pièce *B* en joints avec la pièce *A* en la faisant glisser le long du cran du milieu *xy* qui est coupé carrément. Cette enture exige de la précision dans la coupe pour que tous les abouts serrent en même temps.

Fig. 14, pl. XIX, *trait de Jupiter simple* pour enter les pièces *A*¹ *B*¹.

Fig. 15, *trait de Jupiter simple avec clef* pour serrer les abouts en joint. Les abouts sont droits ou perpendiculaires aux faces de parement des pièces *E*, *D*.

Le nom de cet assemblage et de tous ceux qui en sont dérivés, vient de la ressemblance du tracé du joint sur les faces de parement, avec les traits de la foudre que les artistes placent comme attribut dans la main de Jupiter.

Fig. 16, même assemblage entre les pièces *E*, *D*, dont les abouts sont

(1) Les astérisques qui accompagnent les numéros des figures, indiquent des assemblages qui n'ont pas encore été décrits.

taillés en *coupe* et *brisés*. Cette disposition s'oppose à toute déviation dans l'assemblage, pour que les pièces demeurent *enlignées*. Les brisures $x y z$ étant très-obtuses, il n'y a point à craindre que la pression des abouts, occasionnée par l'effet de la clef, fasse fendre le bois dans les angles y ; les contacts des abouts ont d'ailleurs peu d'épaisseur par rapport à celles des pièces E, D .

Fig. 17, *traits de Jupiter à joints droits avec abouts en coupes brisées et à clef*.

Fig. 18, *autre trait de Jupiter avec tenons d'abouts, rainures, languettes et clef*.

Fig. 19, *trait de Jupiter à triple entaille ou à trois clefs* pour enter les pièces E^1, D^1 . On peut faire des traits de Jupiter à autant d'entailles qu'on veut; c'est un moyen d'augmenter la solidité de l'assemblage lorsqu'il doit résister en tirant. En effet, la solidité du trait de Jupiter, fig. 15, dépend de la résistance que la cohésion des fibres oppose à l'effort qui tend à séparer les pièces. Si le bois venait à se fendre suivant l'une des lignes sv, tu , l'assemblage serait rompu. En multipliant les crans, fig. 19, on multiplie les lignes sv, tu de la fig. 15, qui représentent les surfaces de cohésion des fibres, et il faudrait que les crans d'un même côté des clefs se déchirassent tous pour rompre complètement l'assemblage. Mais au delà de trois ou quatre crans on augmente les difficultés de la coupe sans augmenter beaucoup la solidité de l'assemblage, parce que les entailles n'ont plus assez de profondeur et les clefs assez d'épaisseur pour être solides.

Fig. 20, *trait de Jupiter à trois entailles et une seule clef*. Cet assemblage est d'une exécution difficile pour obtenir une justesse telle, que les abouts des pièces E, D , éprouvent de la part de la clef des pressions égales.

Fig. 16^r, pl. XXI, *trait de Jupiter double, à fausses entailles en coupes inverses*. Pour que la clef tienne également on joint les deux traits des pièces E, D , il faut qu'elle soit cylindrique. On peut faire cette enture à *tenailles*, comme celle des pièces E, D , fig. 1 ou fig. 9^r, pl. XIX.

Fig. 17, *trait de Jupiter avec coupes droites, fausses coupes, et clef en queue d'hironde*. Cet assemblage a le défaut qui résulte toujours de la combinaison des coupes droites avec les fausses coupes, ou, en général, des coupes qui n'ont pas la même inclinaison. Ces coupes sont en désaccord, le glissement des fausses coupes rs, tu tend à ouvrir les joints des coupes droites yx, zv . On a pensé remédier à ce vice en donnant à la clef une forme en queue d'hironde double. Cette forme tend à la faire fendre de x en z , accident qui romprait l'assemblage.

Fig. 18, *trait de Jupiter sans clef et boulonné*. C'est un des meilleurs joints qu'on puisse faire pour enter deux pièces *A, B*; on met en joint en faisant marcher les pièces latéralement l'une vers l'autre. Il faut que ce trait soit taillé très-juste, et qu'on assemble de force à coups de masse; on peut aussi donner une légère obliquité aux abouts et aux crans, afin de faciliter l'entrée en assemblage et le faire serrer en arrivant en joint.

Fig. 6*, pl. XXII, *trait de Jupiter à joint droit avec une seule clef*. Ses abouts sont en coupes inverses. C'est un assemblage très-solide.

Fig. 7*, *trait à plat-joint en tenailles*. Les abouts sont en coupes biaisées et inverses, une clef cylindrique intérieure *g* tient l'assemblage.

Pour mettre en joint, on pose d'abord la pièce *E* à plat sur sa face de parement, l'entaille en dessus fig. 8. On place la clef cylindrique dans le logement qui lui a été préparé sur la joue de l'entaille, et où elle pénètre d'une moitié de sa longueur; on pose ensuite la pièce *D* sur la pièce *E*, de façon que les deux pièces se croisent comme elles sont représentées, même fig. La clef entre de l'autre moitié de sa longueur dans la joue de l'entaille faite sur la pièce *D*; on fait ensuite tourner la pièce *D* jusqu'à ce qu'elle se trouve en ligne droite avec la pièce *E*, l'about de chaque pièce se loge alors dans la coupe qui lui est préparée sur l'autre pièce. En donnant quartier aux deux pièces, de façon que le plan du joint à mi-bois soit vertical, et que les deux pièces et l'axe de la clef cylindrique soient horizontaux, l'assemblage se trouve, comme on le voit fig. 7, en position de résister à un effort qui agirait comme la pesanteur dans le sens vertical; cet assemblage est, comme toutes les autres entures horizontales, susceptible d'être fortifié au moyen de boulons.

§ 5. Entures verticales.

Fig. 21, pl. XIX, enture de la pièce *A* sur la pièce *B*, à *fausse tenaille*. L'assemblage a lieu au moyen d'un tenon qui peut être introduit, sans élever la pièce *A*, dans la fausse tenaille ouverte de côté. Cette enture, qui n'est pas très-solide, s'emploie cependant lorsque quelque obstacle s'oppose à ce que l'on puisse exhausser la pièce *A* suffisamment pour *mettre dedans*, comme l'exigent tous les autres moyens d'enture. En *B*, la pièce qui porte la *fausse entaille*, est vue par le bout en projection horizontale.

Fig. 22, enture à *tenon chevonné*. En projection horizontale la pièce *D* est vue par le bout, la pièce *E* étant enlevée.

Fig. 23, enture à *tenons et tenailles en croix*. La pièce inférieure *B* est vue par le bout en projection horizontale, la pièce *A* étant désassemblée.

Fig. 24, enture à *tenailles inverses*. Chaque pièce porte deux tenons croisés avec deux tenailles, les deux tenons d'une pièce entrent dans les tenailles de l'autre. En *D* la pièce inférieure est vue par le bout en projection horizontale; au centre se trouve un petit carré qui est l'about des deux pièces, et qui répond sur les deux projections verticales aux lignes *v x*.

Fig. 1, pl. XX, entures des pièces *A, B, C*, à *tenons et mortaises carrés*.

L'enture de la pièce *A* avec la pièce *B* a lieu au moyen d'un tenon réservé sur l'about de la pièce *A*, et qui entre dans la mortaise creusée dans l'about de la pièce *B*; le tenon et la mortaise sont à fil du bois, leurs faces et joues sont parallèles aux faces des pièces; on pourrait les faire parallèles aux diagonales.

L'enture de la pièce *B* dans la pièce *C* est faite au moyen d'un faux tenon carré de bois de fil, qui entre de la moitié de sa longueur dans chaque mortaise creusée carrément dans les abouts des deux pièces. En *C*, la pièce inférieure est en projection horizontale vue par le bout désassemblée, et ayant retenu le faux tenon dans la mortaise.

Fig. 2, même assemblage à *double tenon*. Chaque pièce projetée verticalement en *A'* et *B'*, ou en *B'* et *C'*, porte deux tenons contigus diagonalement et deux mortaises intermédiaires, de façon que les deux tenons de chaque pièce entrent dans les deux mortaises de l'autre pièce.

En *D* et *D'*, sont deux projections de la pièce inférieure vue par le bout, l'une pour le cas où la division des tenons est faite par des plans verticaux parallèles aux faces des pièces, l'autre dans laquelle cette division est faite diagonalement. On peut faire un tenon cylindrique, fig. 21.

Fig. 3, entures à *double enfourchement carré* entre les pièces *A, B, C*. Dans la première enture la pièce *B* porte quatre tenons qui entrent dans les quatre encastremens ouverts dans la pièce *A*. Dans l'enture de la pièce *B* sur la pièce *C*, chaque pièce porte deux tenons et deux encastremens, de façon que les deux tenons de l'une pénétrèrent dans les deux encastremens de l'autre.

Fig. 4, entures à *double enfourchement sur les arêtes*. Dans le joint entre les pièces *E, D*, celle-ci porte quatre tenons triangulaires qui sont reçus dans les quatre entailles faites sur les arêtes de la pièce *E*. Dans le joint entre la pièce *D* et la pièce *G*, chaque pièce porte deux tenons triangulaires

placés sur les arêtes diagonalement opposées, et deux entailles triangulaires faites sur les deux autres arêtes, les deux tenons d'une des deux pièces sont reçus dans les entailles de l'autre. Dans ces deux assemblages les deux pièces portent l'une sur l'autre par un about octogonal qu'on voit sur la projection horizontale qui présente la pièce *G* par le bout, la pièce *D* étant enlevée.

Fig. 5, enture *par quartier à mi-bois sur les quatre faces*. Les pièces *A*, *B* sont taillées toutes deux de la même manière; la projection horizontale présente la pièce *B* par le bout après qu'on en a désassemblé la pièce *A*. Les deux quartiers conservés diagonalement sur une pièce entrent dans les emplacements de ceux qu'on a supprimés sur l'autre. Les abouts des quatre quartiers peuvent être taillés en coupe pour les maintenir en joint comme ceux de la figure 9; mais ordinairement ces assemblages sont frettés en fer.

Fig. 6, enture *à enfourchement*. Les deux pièces *E*, *D* sont taillées exactement de la même manière, la projection horizontale fait voir la pièce *D* par le bout après qu'on en a désassemblé la pièce *E*. Les abouts sont en chevrons. Les abouts saillants d'une pièce entrent dans ceux en creux de l'autre. Malgré la sujétion de la coupe de cet assemblage, il a sur le précédent l'avantage que la solution de continuité des fibres n'a pas lieu subitement.

Fig. 7, *trait de Jupiter à quatre faces*. Les deux projections verticales $A^1 B^1$, $A^2 B^2$ font voir le trait sur deux faces contiguës des pièces *A*, *B*, il est le même sur les deux autres faces, mais en sens inverse. L'une des projections horizontales fait voir la pièce *A* par le bout supérieur. Sur la droite la projection verticale B^3 et la projection horizontale *B*, qui lui répond en dessous, font voir la pièce *B* après qu'on en a désassemblé la pièce *A*.

Fig. 8, enture *par quartiers à mi-bois avec tenons réservés en chevrons*.

Fig. 9, enture *par quartiers sur les arêtes*, les quatre abouts sont en coupe. Cette enture difficile à exécuter n'est pas d'un bon service.

Le mode d'enture par quartiers, formés par deux joints qui se croisent à angle droit, s'exécutent très-bien et utilement sur des bois ronds comme nous l'avons indiqué fig. 13. On peut aussi faire cette enture par trois joints qui se croisent au centre sous des angles de 60 degrés, fig. 14.

On ne doit point faire usage de la scie pour exécuter les joints des assemblages des fig. 5, 6, 7, 8, 9, 13 et 14, parce que l'épaisseur du trait de scie laisserait du jeu dans les joints.

Fig. 10, enture à *enfourchement en fausse coupe sur les quatre faces*. Les fourchons sont triangulaires, chaque pièce en porte deux avec deux entailles, les fourchons d'une pièce s'appliquent aux entailles de l'autre, et les deux pièces se joignent par un about carré $v x y z$ dont les angles répondent au milieu de leurs faces. Les abouts des fourchons sont en coupe pour qu'ils ne s'écartent pas.

Fig. 11, enture à *double enfourchement*. La pièce *E* porte quatre fourchons triangulaires sur les quatre arêtes, ils sont tenus dans quatre entailles égales faites sur les quatre arêtes de la pièce *B*. Les deux pièces ont leurs abouts carrés; celui de la pièce *E* est entre les racines des quatre fourchons, celui de la pièce *D* est formé par les quatre entailles, il se voit en $v x y z$ sur la projection horizontale *D*. Les abouts des fourchons sont en coupes, comme dans la figure précédente, pour qu'ils soient maintenus en joint.

Fig. 12, enture en *fausse coupe sur les quatre faces*. Les deux pièces sont taillées exactement de la même manière, elles portent chacune deux longs fourchons en pyramides quadrangulaires; les extrémités en pointe des fourchons de l'une des pièces entrent dans les enfourchements de l'autre. Les abouts sont en coupes. Les joints sont tous quatre perpendiculaires aux faces des pièces, ce qui rend cette enture aisée à tailler avec précision.

Toutes les entures sont susceptibles d'être fortifiées par des ferrures, comme l'enture des pièces *A, B* à *queue d'hironde en tenaille*, fig. 12, pl. XXXVII. Nous donnerons d'autres détails de ces ferrures en traitant de l'emploi du fer dans les assemblages et les charpentes.

§ 6. Entures de pièces de bois minces.

Fig. 10, pl. XXXIX, enture en *fausse coupe avec clef*. Les abouts peuvent être retenus en joint par des vis à bois x , la clef f occupe environ le tiers de l'épaisseur des pièces qu'elle traverse. Elle remplit les mortaises suivant l'épaisseur des bois, mais elle est chassée à coups de maillet pour serrer fortement dans le sens des fibres du bois.

Fig. 11, enture en *fausse coupe avec faux tenon chevillé*. Les abouts sont en coupe parallèlement aux côtés du faux tenon y .

Fig. 12, enture en *fausse coupe avec tenons réservés*. Le tenon y , en saillie sur la première moitié de la fausse coupe d'une ente, pénètre dans la mortaise creusée dans la seconde moitié de la fausse coupe de l'autre ente. Cette enture peut être chevillée.

Fig. 13, enture à *mi-bois en fausses coupes croisées*. Cet assemblage peut être retenu par quelques clous ou par des vis à bois *u, v*; les abouts sont également tenus en joint par des clous ou des vis *z*. On pourrait les terminer en coupe.

On fait aussi cet assemblage en trois parties; deux de ces parties forment des joues, elles appartiennent à l'une des pièces, elles sont toutes deux taillées suivant la même fausse coupe. La troisième partie, qui appartient à l'autre pièce, remplit l'intervalle entre les deux joues, qui est des trois septièmes de l'épaisseur du bois; elle est coupée en sens inverse.

§ 7. Entures usitées dans la charpenterie navale.

Les entures que nous avons décrites dans le paragraphe 5, conviennent lorsque les pièces carrées ou rondes doivent agir suivant leur longueur et même par torsion. Mais lorsque les pièces entées ont à résister à la flexion, leurs joints ne doivent pas établir subitement une solution de continuité des fibres. Il faut que la résistance résultant de la raideur du bois passe de l'une à l'autre des pièces presque insensiblement, et comme s'il n'y avait point d'interruption; c'est dans cette vue que les charpentiers de marine croisent les pièces entées jusqu'à donner aux *écarts* (1) du joint en fausses coupes, les deux tiers de la longueur de chaque ente; et pour empêcher le glissement de ces longs joints, ils les remplissent d'un bout à l'autre d'*ententes* saillantes et creuses qui pénètrent les unes dans les autres.

Ces sortes d'entures sont particulièrement employées pour la construction des vergues en plusieurs pièces. Les *ententes* de leurs joints présentent une succession de queues d'hironde simples ou doubles, suivant le fil du bois, qui s'opposent, en serrant, à toute espèce de dérangement que la flexion des pièces entées pourrait produire dans les joints.

La figure 24, pl. XXIII, représente une vergue ronde composée de deux entes *A, B*, projetée sur un plan parallèle à son axe, et perpendiculaire au joint en fausse coupe *m n*, suivant lequel les deux entes sont assemblées.

Les fig. 25 et 26 sont les projections sur un même plan des deux pièces *A* et *B* désassemblées, et chacune tournée sur l'axe de la vergue pour mettre en évidence directe son joint et ses ententes. On voit comment les *en-*

(1) Longueur dont les bois assemblés se croisent.

dents saillants de l'une des entes peuvent pénétrer dans les *endents* creux de l'autre.

Les saillies et renforcements des endents sont distingués dans ces deux figures et dans les fig. 30 et 31, par des teintes différentes formées de hachures.

La fig. 27 est une coupe perpendiculaire à l'axe de la vergue sur le milieu de sa longueur suivant la ligne *MN* des fig. 24, 25, 26. A cette place le joint en fausse coupe est uni, vu que c'est le point où les endents saillants et creux alternent d'un côté à l'autre de l'enture.

La fig. 28 est une coupe qui répond à la ligne *PQ* des mêmes figures.

La fig. 29 est une vergue ronde assemblée de quatre pièces, savoir : deux entes *D, E*, et deux jumelles de recouvrement *F, G*; elle est projetée sur un plan parallèle à son axe et perpendiculaire aux deux joints de recouvrement *ae, io*, des jumelles avec les entes.

La fig. 30 est une seconde projection de la même vergue également parallèle à son axe, mais perpendiculaire à celle de la figure précédente, et après l'enlèvement d'une des jumelles *F*, pour mettre en évidence les endentures en saillies des entes *D, E*, jointes ensemble suivant la fausse coupe *uv*; ces endentures doivent entrer dans les endentures égales, creusées dans la jumelle *F* qui est supposée enlevée. Il en est de même des endentures du joint entre les pièces *D, E*, et la deuxième jumelle *G*.

La fig. 31 est une projection de l'ente *E* dans le même sens et sur le même plan que la projection fig. 29. Cette ente *E*, fig. 31, est désassemblée. Elle montre les endents carrés creusés dans son joint en fausse coupe *u, v*, pour recevoir les endents en saillie de l'ente *D* qui est enlevée. Les fig. 32 et 33 sont des coupes suivant les lignes *MN, RS*.

§ 8. Assemblages de pièces de bois croisées.

Fig. 15, pl. XX assemblage croisé à tiers de bois. La pièce *A* et la pièce *B* sont entaillées chacune au tiers de son épaisseur, et sur une longueur égale à la largeur de l'autre pièce; lorsque les pièces sont assemblées, le joint occupe sur chacune les deux tiers de son épaisseur.

Fig. 16, même assemblage à mi-bois, chaque pièce est entaillée de la moitié de son épaisseur, de sorte que lorsqu'elles sont assemblées, leurs surfaces de parement s'effleurent des deux côtés. On maintient les assemblages en joint au moyen d'un boulon.

Fig. 17, assemblage en croix à double entaille. La première entaille de

chaque pièce est faite sur le premier tiers de son épaisseur et carrément, comme celle de la fig. 15; la seconde est faite sur le second tiers de l'épaisseur, mais seulement suivant deux des quatre triangles résultant des diagonales tracées sur le fond de la première entaille, ce qui forme deux espèces d'embrèvement en onglets qui laissent les deux autres triangles en saillies suivant le fil du bois. Les deux pièces se trouvent ainsi entaillées de la même manière; en les croisant pour les assembler, les triangles saillants de l'entaille intérieure d'une pièce entrent dans les embrèvements creusés dans le fond de l'entaille de l'autre pièce. On peut maintenir cet assemblage en joint au moyen d'un boulon comme les deux précédents, ce boulon n'est pas marqué sur la figure.

On peut croiser deux pièces au tiers ou à moitié-bois en n'employant que la seconde entaille en onglet. La fig. 18 représente une pièce, celle *B* désassemblée, entaillée ainsi et vue par la face, dans laquelle on a entaillé les embrèvements *xz* qui réservent sur la même face les deux onglets saillants *yy*. Deux pièces étant taillées de cette sorte et exactement pareilles, en les croisant, les onglets de l'une entrent dans les embrèvements de l'autre; les pièces ne se pénètrent que de la profondeur des entailles. On ne doit point se servir de la scie pour faire les entailles en onglet, parce que l'épaisseur du trait de scie empêcherait les onglets de se joindre exactement, et l'assemblage aurait du jeu.

On peut varier le joint de la fig. 15 de diverses manières, nous n'en indiquerons qu'une, dans laquelle les entailles et onglets se trouvent remplacés par une rainure et une languette. *B*¹ fig. 19, est dans cette hypothèse une coupe de la pièce *B*. Suivant la ligne *mn* de la fig. 17, elle fait voir le profil de la languette *x*, à fil de bois. La fig. 20 est une coupe de la pièce *A* suivant la même ligne *mm*; elle fait voir le profil de la rainure *v* creusée perpendiculairement au fil du bois et qui reçoit la languette *x* de la fig. 19. Cet assemblage ne vaut pas celui de la fig. 17, parce qu'il affaiblit davantage les pièces, à moins qu'on ne donne très-peu d'épaisseur à la languette, pour que la grande entaille soit moins profonde.

Fig. 21, assemblage à *mi-bois en croix à clef*. La pièce *A* est assemblée dans la pièce *B* à mi-bois; elle porte sur une de ses faces latérales une entaille *v* en coupe, qui reçoit la joue aussi en coupe *y* de l'entaille de la pièce *B*. Une clef *z*, taillée aussi en coupe, sert à serrer le joint, et les pièces *A* *B* ne peuvent plus se séparer. Cet assemblage ne nécessite pas de boulon.

Dans l'assemblage de la pièce *E* avec la pièce *B*, le joint en paumelle est remplacé par deux entailles qui forment un tenon *r* et un encastre-

ment s , le joint est serré par une clef en coin t ; dans ces divers assemblages, les deux pièces assemblées peuvent avoir des équarrissages différents; leur croisement peut aussi avoir lieu sous un angle quelconque, c'est le cas le plus fréquent représenté par la figure suivante.

La fig. 1 de la pl. XXII présente une projection horizontale sur les faces de parement d'une *croix de Saint-André* formée par l'assemblage à mi-bois de deux pièces A , B , qui se croisent sous un angle quelconque. $A^1 B^1$ est la projection verticale de cet assemblage; A^2 et B^2 sont les mêmes pièces désassemblées projetées sur leurs faces normales.

La fig. 2 est la projection horizontale du trait de l'assemblage à mi-bois *croix de Saint-André avec embrèvement* en p et q . La fig. 3 est la projection verticale de la pièce B vue sur sa face normale, répondant à son arête $m n$.

Les embrèvements dans les assemblages en croix de Saint-André sont utiles lorsque les angles de croisement diffèrent beaucoup de l'angle droit, pour empêcher qu'il ne se lève des éclats aux bords aigus des entailles.

Les pièces qui forment les *croix de Saint-André*, fig. 1 et 2, sont traversées par un boulon pour les tenir en joint. Ce boulon est ponctué dans la projection verticale fig. 1. Dans les projections A^2 , B^2 , on a projeté les trous qu'il traverse.

Fig. 4, *croix de Saint-André* formée par des pièces *débillardées* (1) en projection sur le plan des faces de parement que nous supposons horizontales; les pièces assemblées sont marquées A , B , elles sont en projections verticales et assemblées en $A^1 B^1$; on les voit désassemblées, encore en projection horizontale, au-dessous de la figure à gauche et à droite en A et B , et elles sont un peu plus bas en projection sur leurs faces d'épaisseur en A^2 , B^2 . Pour que l'on saisisse plus aisément la relation de chacune de ces dernières projections avec sa correspondante A ou B , les mêmes arêtes dans les unes et les autres projections sont marquées des mêmes chiffres. Ainsi l'on voit qu'on a fait tourner les pièces A et B autour de leurs arêtes n° 1, pour amener dans chacune la face comprise entre les arêtes n° 1 et n° 2, parallèle au plan de projection.

En B^2 est une section de la pièce B par un plan perpendiculaire aux arêtes, suivant les lignes xy , $x'y'$.

Cette croix de Saint-André est boulonnée, comme la précédente, au milieu de son joint, et perpendiculairement à ses faces de parement. Le boulon est représenté ponctué dans la projection verticale $A^1 B^1$; sur les

(1) On entend par une pièce *débillardée* celle dont les faces ne sont point d'équerre.

projections *A*, *C*, des pièces désassemblées, sur les projections *A*³, *C*⁴, on n'a représenté que les orifices visibles des trous qu'il traverse.

Les assemblages à entailles des bois qui se croisent sont fréquemment consolidés par des coupes en queue d'hironde ou des rainures, lorsque la pièce qui croise ne se prolonge au delà de la pièce croisée que de la longueur nécessaire pour que la joue de l'entaille ait assez de solidité. La fig. 7 de la pl. XXXIII présente des exemples de cette combinaison. La pièce *A* est assemblée à mi-bois avec la pièce *B*; les joues de l'entaille faite dans celle-ci sont coupées suivant les lignes xz qui tracent en même temps des embrèvements sur la pièce *A*, qui se trouve ainsi coupée en queue d'hironde. Quelquefois on ne fait l'embrèvement que d'un seul côté, comme en $t v$ dans l'assemblage de la pièce *E* avec la même pièce *C*; dans ce cas, on peut faire un embrèvement semblable $t v$ dans la pièce *B* qui passe en dessous de la pièce *E*. Il en résulte que les deux pièces sont également assemblées à entailles et à queue l'une à l'égard de l'autre. La fig. 22, pl. XX, représente pour le même cas l'assemblage d'une pièce *O* dans l'entaille à rainure d'une pièce *R*.

Les charpentiers anglais substituent ordinairement aux queues d'hironde combinées avec les assemblages à mi-bois, une *encocheure* $y z$, fig. 7, pl. XXXIII, entaillée dans la pièce *O*, et qui reçoit une saillie réservée sur la joue de l'entaille de la pièce *B*. Cette *encocheure* ne vaut pas la queue d'hironde, vu que sa résistance n'est représentée que par la cohésion des fibres de la pièce *B* compris de y en z ; tandis que dans l'assemblage à queue d'hironde, des pièces *A* ou *E*, la résistance résulte de la cohésion des fibres de toute l'épaisseur de la pièce *B* de z en x ou de t en v .

Les charpentiers anglais appliquent aussi leur embrèvement circulaire aux entailles à mi-bois, comme on le voit en $r s$, pour l'assemblage en croix de la pièce *I* avec la pièce *B*.

Les assemblages croisés par entailles et à queue d'hironde ou à rainure sont ordinairement houlonnés comme les autres assemblages croisés.

§ 9. Assemblages russes et suisses.

Les charpentiers des contrées du Nord et de la Suisse assemblent des corps d'arbres pour former les encoignures des murailles, en les croisant au moyen d'entailles à mi-bois qui sont mises en joint d'une manière toute contraire de celle que nous avons précédemment décrite. Ce mode

d'assemblage réunit plusieurs avantages pour les circonstances qui en déterminent l'emploi.

La fig. 1, pl. XXIII, contient une projection horizontale et deux projections verticales de trois parties de murailles en bois *A, B, C*; deux d'entre elles rencontrent la troisième à angle droit.

Chaque muraille est formée de corps d'arbres posés horizontalement les uns au-dessus des autres, de façon que tous leurs axes sont dans un plan vertical. Au point de rencontre de ces deux murailles, les arbres de l'une croisent ceux de l'autre et les dépassent d'une longueur au moins égale à leur diamètre. Ils sont entaillés afin qu'ils puissent dans chaque muraille se joindre sur toute leur longueur.

L'entaille de chaque corps d'arbre est creusée en demi-cercle suivant la rondeur du corps d'arbre qui doit la remplir et qu'elle doit envelopper sur la moitié de son contour, de telle sorte que chaque corps d'arbre est reçu dans l'entaille de celui qui est au-dessous, et qu'il reçoit dans la sienne celui qui est au-dessus.

Ce mode d'assemblage ne permet pas que les arbres soient établis par cours à mêmes hauteurs dans les murailles qui se joignent; il n'y a aucun inconvénient sous le rapport de l'aspect de la construction, et cette disposition procure l'avantage qu'il ne peut y avoir de glissement horizontal d'un lit à l'autre dans un aucun sens.

Si la rencontre des murailles était oblique, cela ne changerait rien au mode d'assemblage; les entailles, au lieu d'être faites perpendiculairement à la longueur des corps d'arbres, seraient obliques et n'en seraient pas moins creusées circulairement, de façon à présenter des surfaces concaves cylindriques.

Lorsque les parements des murailles ne sont point verticaux, le moyen d'assemblage n'est pas changé, les entailles sont seulement reculées et creusées de manière que les arbres se touchent toujours, et qu'ils soient en retrait les uns sur les autres.

A l'extrémité d'un mur, les arbres qui ne doivent pas être croisés par d'autres, sont taillés en tenons qui sont reçus dans la rainure d'un poteau *D*. Lorsque le mur doit être prolongé au delà du poteau, on creuse une seconde rainure comme celle du poteau *E* pour recevoir les tenons des arbres qui forment le prolongement de la muraille. On use de ce moyen lorsque les arbres n'ont pas assez de longueur pour former d'une seule pièce celle de la muraille.

Dans le dessous de chaque corps d'arbre, on creuse une cannelure longi-

tudinale dont l'objet est de donner une assiette plus large et un calfatage de mousses plus épais; on la fait en dessous pour qu'elle ne retienne pas l'eau de la pluie.

La fig. 2 présente deux projections d'un des corps d'arbres de la muraille *C*, parallèlement à sa longueur. La fig. 3 est une coupe par le milieu de l'entaille suivant la ligne *m n* de la fig. 2. La fig. 4 est une autre coupe du corps d'arbre suivant la ligne *p q*.

On pourrait entailler les corps d'arbres comme celui représenté fig. 5; la jonction s'opérerait de la même manière aux points où les arbres se croiseraient, mais le travail ne serait point aussi simple que celui représenté fig. 2.

On peut poser aussi les arbres les uns au-dessus des autres en sens inverse de celui que la figure représente, de façon que les entailles soient en dessous. Cette disposition serait utile pour que les entailles ne conservassent pas l'eau de pluie qui pourrait s'y insinuer. Elle ne changerait rien au système d'assemblage, qui joint une extrême simplicité à la plus grande solidité; mais il en résulterait quelque travail de plus, vu que lorsque les entailles sont en dessus, elles se font sur les arbres à mesure qu'ils sont mis à leurs places.

La fig. 6 présente une projection horizontale et deux projections verticales de trois parties de murailles en pièces de bois équarries, *A*, *B*, *C*, dont les assemblages des encoignures sont faits d'après le même système. Les entailles sont carrées et occupent la moitié de l'épaisseur du bois, chaque pièce reçoit dans son entaille la partie non entaillée de la pièce qui la croise. La fig. 7 donne deux projections de l'une des pièces du mur *C*.

La fig. 7 est une coupe sur l'entaille de cette pièce suivant la ligne *m n* de la fig. 7; et la fig. 9 une coupe de la même pièce suivant la ligne *p q*.

La fig. 10 montre les deux entailles qui pourraient être faites dans chaque pièce pour produire le même résultat, chaque pièce se trouvant assemblée avec celles qui la croiseraient au quart de son épaisseur. Mais, ainsi que nous l'avons remarqué à l'occasion de la fig. 5, il en résulterait une augmentation de travail sans accroissement de solidité.

La fig. 11 contient une projection horizontale et deux projections verticales de l'encoignure formée par deux parties de murs *B*, *C*, en bois ronds dont les assemblages sont taillés à six pans. Cette disposition est adoptée lorsqu'on veut donner un large contact aux arbres, et que les assemblages soient serrés avec plus de force par l'effet des joues inclinées des entailles qui sont creusées chacune suivant un demi-hexagone.

La fig. 12 présente une projection horizontale et une projection verticale de l'une des pièces de la muraille *C*. La fig. 13 est une coupe suivant la ligne *k l* de la partie du corps d'arbre taillé en prisme hexagonal. La fig. 14 est une coupe sur le milieu de l'entaille en demi-hexagone suivant la ligne *m n*, et la fig. 15 est une coupe du corps d'arbre suivant la ligne *p q*, pour montrer sa forme après qu'on a taillé les deux faces parallèles qui font partie de celles du prisme hexagonal, et suivant lesquelles les arbres sont posés les uns sur les autres.

La fig. 16 présente deux projections verticales développées sur le même plan l'une à côté de l'autre, d'un angle ou encoignure d'une muraille en bois, dont les pièces ne dépassent point les parements extérieurs. Chaque pièce présente une queue d'hironde suivant le fil du bois en dessus, et dans le sens perpendiculaire en dessous, de telle sorte que les pièces ne peuvent point s'écarter les unes des autres lorsqu'elles sont pressées par le poids de la bâtisse.

§ 10. *Assemblages longitudinaux des grosses pièces.*

Fig. 1, pl. XXI, assemblages de deux pièces *A B* appliquées l'une contre l'autre suivant leur longueur. Cet assemblage peut avoir lieu par simple juxtaposition ou à plat-joint, ou bien le joint est façonné de diverses manières; dans l'un et l'autre cas, on est ordinairement dans la nécessité d'attacher les pièces l'une à l'autre par quelques-uns des moyens auxiliaires qui font l'objet des fig. 2, 3, 4.

Sur la gauche de la première projection des pièces *A, B*, fig. 1^{re}, on a représenté diverses coupes suivant la ligne *v y*, pour montrer les dispositions à rainures et languettes qui sont quelquefois employées. La coupe *A¹ B¹* fait voir celle d'une fausse languette, qui entre de la moitié de sa hauteur dans la rainure creusée longitudinalement dans chaque pièce. Pour que cette languette ait toute la solidité désirable, il faut qu'elle soit à bois debout, c'est-à-dire que le fil du bois de la languette soit perpendiculaire au fil du bois des pièces *A²* et *B²*, afin que la languette ne puisse se fendre suivant la longueur du joint *v z*. Cette languette est alors formée de plusieurs pièces réunies les unes près des autres.

Dans la coupe *A² B²*, les pièces *A* et *B* portent chacune longitudinalement une rainure et une languette. Dans celle *A³ B³*, l'une des pièces *B* porte la languette, la rainure est creusée dans la pièce *A*. Enfin, dans les coupes *A⁴ B⁴*, la languette et la rainure ont la forme d'une queue d'hi-

ronde. Les pièces ne peuvent plus être assemblées en les rapprochant parallèlement l'une de l'autre, on les fait glisser longitudinalement l'une sur l'autre en faisant entrer la languette ou queue dans la rainure.

La figure 2 représente, en projection horizontale et en projection verticale, trois moyens d'assemblage des deux pièces *A* et *B* réunies longitudinalement. Sur les côtés de la projection verticale sont deux autres projections verticales perpendiculaires, sur lesquelles les pièces *A* et *B* sont projetées en *A*² *B*², par leurs bouts; *a* est une cheville ou goujon en bois qui pénètre dans les deux pièces de bois *A B*, jusqu'à la moitié de l'épaisseur de chacune; on multiplie les goujons en bois autant qu'il le faut sur la longueur des pièces pour opérer une réunion suffisamment solide suivant l'objet qu'on se propose; les goujons doivent être faits en bois très-sec; ils sont chassés à force dans les trous faits avec une tarière dans les deux pièces, avec l'attention que ceux de l'une correspondent exactement vis-à-vis ceux de l'autre; les goujons sont plantés d'un bout à coups de maillet dans les trous d'une des deux pièces; ils sont ensuite introduits de l'autre bout dans les trous de l'autre pièce qui est amenée en joint à coups de masse.

b Est un faux tenon qui pénètre de la moitié de sa longueur dans chaque pièce; ce tenon est entré de force dans les mortaises et chevillé.

c Est une clef qui traverse les deux pièces *A, B*, et les serre l'une contre l'autre au moyen de deux clavettes; avant qu'on adoptât l'usage des boulons, cette clef et ses clavettes en tenaient lieu.

La fig. 3 représente encore par deux projections la réunion longitudinale des deux pièces de bois *A, B*, maintenues par divers moyens. *a, a*, sont deux clefs logées en dessus et en dessous des deux pièces dans des entailles dont les côtés sont en coupe; les clefs sont introduites dans les entailles en glissant; lorsqu'elles sont en place et que les deux pièces sont bien serrées l'une contre l'autre, on fixe les clefs en les clouant.

b, b, Sont deux clefs en doubles queues d'hironde logées dans des entailles très-justes et qui forcent même la pression en joint; une clef à queue est au-dessus, une autre au-dessous : elles sont maintenues en place par des clous ou des vis.

c Clef à queues d'hironde avec un coin *d*; cette clef traverse les deux pièces dans les mortaises qu'on y a ouvertes : elle n'occupe qu'une partie de l'étendue de la mortaise, le surplus est rempli par l'autre cef taillée un peu en coin.

f f Même assemblage avec deux clefs à queue d'hironde et une clef en coin *g* placée entre elles.

h Grosse cheville qui traverse les deux pièces et est *caincée* par les deux bouts, pour remplir les deux trous qu'elle traverse et qu'on a eu soin d'évaser en long par leurs orifices extérieurs. Ses coins en bois dur sont chassés à coups de marteau dans des fentes ouvertes avec un ciseau dans une position perpendiculaire à la longueur des pièces *A*, *B*, afin que la pression se porte sur le bois debout, vu que dans un autre sens elle ferait fendre les pièces.

La fig. 4 représente quelques ferrements employés pour serrer deux pièces de bois *A*, *B*, accolées; sur la droite en $A^1 B^1$, sur la gauche en $A^2 B^2$, $A^3 B^3$, $A^4 B^4$, sont quatre coupes des pièces *A*, *B*, avec les projections des ferrements qui les unissent. *a*, Lien à vis et écrous avec bride; *b*, frette simple; *c* frette serrée avec des coins en bois ou en fer; *d*, boulons à vis et écrous de différentes formes. Nous aurons occasion de donner d'autres détails sur ce sujet en parlant de l'emploi du fer dans les assemblages.

§ 11. Assemblages longitudinaux des planches et des madriers.

Fig. 5, pl. XXI. Coupe de quatre planches par un plan perpendiculaire à leur longueur : elles sont assemblées en *a* à plat-joint, en *b* en fausse coupe, et en *c* avec *fausse languette* rapportée dans la rainure creusée sur l'épaisseur de chaque planche : cette fausse languette doit être à bois debout, comme nous l'avons déjà fait remarquer au sujet des pièces $A^1 B^1$, fig. 4.

Fig. 6, assemblage de planches à joints recouverts.

Fig. 7, assemblage à rainures et languettes simples avec faux tenons chevillés *d*; ces tenons sont toujours à bois debout dont le fil est perpendiculaire à la longueur des planches.

Fig. 8, assemblage à doubles rainures et languettes.

Fig. 9, assemblage dit à *grains d'orge*.

Les assemblages 6, 7, 8 et 9, sont représentés par des projections sur un plan parallèle aux planches ou madriers, et par des coupes perpendiculaires au fil du bois, suivant la ligne *m n* commune à ces quatre figures.

Fig. 10, assemblage de planches à joints recouverts avec rainures et languettes; les planches représentées par leurs coupes *A*, suivant un plan perpendiculaire au fil du bois, sont clouées sur la solive *B*, projetée selon sa longueur sur le même plan. Les têtes des clous *x* sont couvertes par les planches à mesure qu'elles sont posées.

Fig. 11, *A*, *A*, *A*, planches assemblées entre elles à rainures et languettes,

et dans la traverse *B* également à rainures et languettes avec tenons et mortaises *f*.

§ 12. *Assemblages à endentures usités dans la charpenterie navale.*

Les rainures et languettes de la fig. 1. pl. XXI, maintiennent les pièces assemblées parallèles, mais elles n'opposent point de résistance au glissement qui peut résulter d'un effort dans le sens de la longueur des bois, ou de la courbure que leur flexibilité peut permettre. Les charpentiers, notamment ceux de marine, ont ajouté à ce mode d'assemblage des *endents* ou *crans* qui fixent invariablement les unes aux autres les pièces jointes longitudinalement : les endents sont ou intérieurs ou apparents; nous ne décrirons ici que les endents intérieurs, qui sont employés particulièrement pour la confection des grands mâts ou des vergues, et qu'on peut appliquer avec avantage à d'autres pièces de charpenterie civile; nous aurons occasion de parler des *endents* apparents lorsque nous traiterons des poutres formées de plusieurs pièces figurées planches XXXVII, XXXVIII, XXXIX.

Un mât supposé couché horizontalement est représenté fig. 17, pl. XXIII, par une projection verticale sur un plan parallèle à son axe et à l'un des joints, et par une coupe suivant un plan perpendiculaire au premier passant par la ligne *MN*; cette coupe fait voir par leurs bouts les quatre pièces *O*, *U*, *V*, *X*, qui composent le mât, séparées par les traits de leurs joints à rainures et languettes qui portent les *endentures*. Les pièces *U*, *V* sont les seules apparentes sur la projection verticale.

La fig. 18 contient la projection et la coupe des deux pièces *O*, *X*, qui forment une moitié du même mât, et desquelles on a désassemblé les pièces *U*, *V*, de l'autre moitié du mât, pour faire voir dans la projection le tracé des *endents* carrés en saillies et en creux qui s'ajustent à ceux taillés en sens inverse sur les pièces *U*, *V*.

La fig. 16 est relative à la construction d'un mât composé de deux pièces *Y*, *Z*, qui sont vues par le bout dans la coupe suivant la ligne *M*, *N*, de la projection verticale, où la seule pièce *Z* désassemblée est représentée pour mettre ses endentures en évidence. Celles de la pièce *Y* sont en sens contraire, c'est-à-dire que ce qui est en saillie sur l'une est en creux sur l'autre.

On compose des mâts d'un plus grand nombre de pièces. On en voit des exemples dans les coupes figures 20 et 21; les joints sont marqués sur ces

deux figures sans avoir égard aux endentures, pour indiquer plus clairement la disposition de leurs plans principaux.

Lorsqu'un mât ou tout autre assemblage longitudinal est formé par la réunion de plusieurs pièces autour d'une autre principale *z*, fig. 20, 21, 23, celle-ci se nomme la *mèche*, les autres sont les *fourrures*.

Les assemblages longitudinaux avec endentures intérieures s'appliquent fort bien à la composition des pièces carrées, comme seraient celles qui auraient pour équarrissages les carrés ponctués, fig. 20 et 21, et celles vues par le bout, fig. 22 et 23.

Les endents carrés des fig. 18 à 19 et 31 sont, à longueur et épaisseur égales, plus solides que ceux obliques; on les emploie lorsqu'il faut empêcher le glissement des pièces dans les deux sens sur leur longueur. Les endentures obliques qui forment des queues d'hironde sont préférables lorsqu'il s'agit de s'opposer à un glissement dans une seule direction, et surtout à la courbure, parce que leurs endents serrent comme des coins; ils unissent bout à bout les fibres du bois, tellement qu'il n'y a, pour ainsi dire, plus de solution de continuité sensible dans la roideur qu'elles opposent à une force qui tendrait à plier les pièces.

La solidité des endentures dépend de leur longueur, vu que cette solidité résulte de la cohésion des fibres du bois dans la partie où chaque endent tient aux joues des rainures ou des languettes dans lesquelles il se trouve entaillé. Les rainures et languettes, quel que soit le tracé des endents, doivent être établies dans le fil du bois de manière que les principales fibres ne soient point tranchées, pour qu'elles résistent également d'un bout à l'autre des joints. Pour qu'un assemblage par endents intérieurs soit inébranlable, il faut qu'il soit coupé avec une précision parfaite. Les endentures n'ont de force que parce que la résistance est répartie également entre un grand nombre d'endents, chacun n'ayant à fournir qu'une faible partie de cette résistance. On conçoit qu'il faut par cette raison que tous les endents soient également serrés dans leurs joints partiels, autrement, s'il y en avait un qui fût plus serré que les autres, il supporterait seul tout l'effort de l'assemblage; cet effort pourrait le faire éclater; celui qui serait le plus serré après lui éclaterait à son tour, et l'indenture pourrait de cette manière être ruinée complètement.

Dans la disposition des endents carrés, les crans peuvent être distribués de telle sorte qu'aucun d'eux ne corresponde à un autre, afin qu'ils forment comme des contre-forts distribués le long des languettes et des rainures pour qu'elles soient moins affaiblies; mais pour les endentures

obliques, il est nécessaire que les crans des endents se correspondent et qu'ils leur donnent une forme en queues d'hironde symétriques, afin que les efforts latéraux se contre-boutent, que les endents se serrent mieux, et qu'ils ne déjettent point les joues des rainures et languettes dans lesquelles ils sont taillés.

§ 13. *Moises.*

Autrefois le nom de *moise* signifiait la moitié d'une poutre fendue en long (1); aujourd'hui on ne donne le nom de *moises* qu'aux pièces jumelles qui embrassent deux autres pièces, le plus souvent en les croisant pour les lier entre elles; ainsi *moiser* des pièces de bois, c'est les saisir entre deux moises. Une *moise* seule ne peut pas *moiser*, il faut qu'elle soit jumelée avec une seconde moise, autrement elle prend différents noms tels que ceux de *lierne*, *écharpe*, *lambourde*, *décharge*, *traverse*, suivant sa position et son objet.

Dans la fig. 12, pl. XXI, les deux pièces parallèles *M, M*, sont deux moises, elles moisent en saisissant et serrant les pièces *A, B, C, D, E, F, G, H, I*.

A côté de la principale projection verticale, les moises sont vues par leurs bouts en *M M*²²; au bas de la planche, les moises et les pièces désignées par les mêmes lettres sont projetées désassemblées.

Les moises *M, M*, sont entaillées pour envelopper les pièces moisées; celles-ci le sont aussi quelquefois comme la pièce *B*, pour que les moises ne puissent pas glisser, l'assemblage est même assez souvent fait à recouvrement; c'est de cette manière que la pièce *C* est moisée.

Les entailles des moises sont toujours tracées, de manière que la mise en joint puisse se faire dans le même sens pour toutes les pièces moisées ensemble par les mêmes moises. Elles peuvent être droites comme pour les pièces *A, B, C, G*, inclinées comme pour les pièces *H, I*, triangulaires pour les pièces carrées ou néplates *E, F*, moisées sur leurs arêtes. Les entailles peuvent aussi être biaisées pour les pièces débillardées comme la pièce *D*. Mais on doit remarquer que pour cette pièce, qui n'a ici pour objet que d'indiquer une entaille biaisée, la mise en joint ne pourrait avoir lieu en même temps que celle des autres pièces comprises dans la figure; elle ne

(1) *Moise*, tref scié au long à la juste épaisseur d'une demi poutre. (Abrégé du parallèle des langues française et latine du père Phil. Monet, 1631.) *Moise* et *moison* ont signifié dans l'ancien langage *moitié*.

pourrait être moisée qu'avec des pièces qui seraient débillardées sous le même angle qu'elle.

Dans la fig. 13, la pièce moisée A^2 est supposée inclinée dans un sens tel, que ses arêtes ne sont point parallèles aux plans des faces de parement des moises M^2, M^2 , qui sont vues par le bout.

L'assemblage des moises est dit à *mi-bois* lorsque chaque moise et les pièces moisées sont également entaillées du quart de l'épaisseur de ces dernières, comme serait l'assemblage de la pièce D , fig. 12.

Les moises sont ordinairement retenues en joint par des boulons en fer à clavettes, et mieux à vis et écrous. Un seul boulon traverse quelquefois les deux moises et la pièce moisée comme en A . Lorsqu'on craint d'affaiblir la pièce moisée, on place un boulon de chaque côté, c'est ce qu'on a supposé pour la pièce C , déjà affaiblie par son entaille, ou pour la pièce cylindrique G .

Afin qu'on puisse serrer à volonté les assemblages des moises, on n'aprofondit pas leurs entailles suffisamment pour que leurs faces se touchent, ce qui conserve entre elles un petit jour x , égal, d'un bout à l'autre, au double de la quantité dont on a diminué la profondeur des entailles.

La disposition d'une charpente exige quelquefois que les moises M^2, M^2 , fig. 14, soient débillardées, de façon que leurs faces en parement soient parallèles à celles des pièces moisées projetées sur A^2 , tandis que leurs faces d'épaisseur ou d'assemblage doivent faire un angle donné avec les arêtes de ces mêmes pièces. Un assemblage biaisé de la sorte ne peut remplir son objet qu'autant que les boulons, dont les têtes et les écrous doivent porter sur les faces de parement des moises, ont une direction perpendiculaire à ces mêmes faces et ne serrent point à faux. La ligne xz passant par les points qui appartiennent aux arêtes opposées des deux moises M^2, M^2 , et qui est perpendiculaire aux arêtes des pièces moisées projetées sur A^2 , représente la position normale d'un boulon; elle indique en même temps la limite du débillardement des moises M^2, M^2 , pour que l'effort du boulon sur les joints ne déverse pas ces moises. Pour que la pression soit également répartie, la ligne xz doit passer par les milieux y de la largeur des joints.

Dans quelques anciennes charpentes on trouve des moises serrées par des clefs et des clavettes en bois, comme celles qui unissent les pièces A et B , fig. 2 et 3, pl. XXI.

Quelquefois les moises sont serrées et maintenues en joint par d'autres moises secondaires, qui les embrassent en les croisant. Nous n'avons pas

représenté cette disposition, n'ayant en vue, pour le moment, que les assemblages simples.

Les moises sont souvent employées à lier ensemble des pièces de bois très-écartées les unes des autres. Pour donner plus de force aux assemblages extrêmes, en outre de ce qu'on fait dépasser les bouts des moises d'une quantité suffisante pour que leurs entailles puissent résister aux efforts qu'elles ont à supporter, on fait ces entailles en queue d'hironde; le détail de cet assemblage est représenté par une projection horizontale et une projection verticale, fig. 13, pl. XXXVIII.

Les fonds des entailles, tant des moises *M* que de la pièce *A*, sont inclinés suivant les lignes *x z* de la projection horizontale. Les lignes *t v* marquent sur la projection verticale les enbrèvements en queues d'hironde des joues des entailles de la pièce *A* dans les faces normales des moises.

§ 14. Assemblage des pièces de bois courbes.

Les pièces de bois courbes peuvent être jointes entre elles et avec des pièces droites, par tous les assemblages que nous avons décrits; elles peuvent entrer dans toutes les combinaisons de charpenterie comme les pièces droites. Dans le tracé des joints, entre pièces courbes, leurs diverses parties conservent leurs positions et les proportions que nous avons prescrites pour les pièces droites. Nous ne nous arrêterons, en conséquence, qu'à un très-petit nombre d'exemples.

La fig. 9, pl. XXII, représente divers assemblages entre pièces courbes.

Les pièces *B*, *E*, sont assemblées à tenons et mortaises avec d'autres pièces *C*, *D*. Pour chaque assemblage, l'about *a b* est commun à l'enbrèvement et au tenon; on le fait ordinairement perpendiculaire à la surface qui reçoit l'assemblage. La partie rampante, *c d*, du tenon, doit toujours être taillée suivant le fil du bois, sans égard à la courbure de la pièce assemblée au point *c*. Du reste, les largeurs, épaisseurs, longueurs et profondeurs des tenons et mortaises conservent, avec les dimensions des pièces, les mêmes proportions. Si l'assemblage d'une pièce droite ou courbe a lieu sur une des surfaces planes d'une pièce courbe *C*, l'occupation de la pièce assemblée, que le dessin ne représente pas, est figurée par le quadrilatère *e f g h*; la mortaise est creusée dans la pièce *C* de façon que sa longueur est perpendiculaire au rayon *w a*, qui divise l'occupation *e f g h* en deux parties égales. On ne donne point de courbure aux joues de la mortaise *G* non plus qu'à celles du tenon qui doit y entrer, parce qu'elle

serait plus nuisible qu'utile si elle n'était pas taillée avec la même précision qu'on peut apporter pour l'exécution des surfaces planes.

A l'égard des entures, les joints doivent être tracés symétriquement et en accord avec les courbures des pièces, comme ils le sont à l'égard des surfaces planes des pièces droites; les parties des joints qui sont parallèles aux faces des pièces droites peuvent suivre les courbures des pièces cintrées. Nous avons tracé, fig. 9, un trait de Jupiter de cette sorte, pour enter les pièces *A, B*. Les joints *p q, i j*, sont courbes et parallèles aux faces courbes des deux pièces. Il en résulte qu'en serrant la clef, les deux pièces sont poussées l'une vers l'autre et en joints de leurs abouts par un mouvement circulaire de glissement sans qu'elles puissent désaffleurer sur leurs faces cylindriques.

Nous avons tracé un autre trait de Jupiter pour enter les pièces *E, F*, dont les joints *m o, n e* sont droits, parallèles entre eux et perpendiculaires au rayon *x y* du milieu de la longueur de l'assemblage. Souvent on préfère ce joint au précédent à cause de la justesse qui résulte de la facilité de son exécution. On peut également faire l'enture en fausse coupe comme elle est tracée pour le trait de Jupiter entre les pièces *C, D*; les joints *u s, t v* sont obliques par rapport au rayon de courbure *r z* du milieu de l'assemblage. Ce joint a l'avantage de trancher moins brusquement les fibres du bois que les deux précédents; mais il a quelquefois l'inconvénient de faire désaffleurer les surfaces courbes en *k* et en *l*, et de faire éclater le bois dans l'angle *t* qui est souvent plus aigu qu'il ne le serait si les pièces étaient droites.

Les charpentiers de marine entent en *fausse coupe, m n*, fig. 34, pl. XXIII, les courbes ou côtes des navires formées de pièces accouplées. Ce mode d'assemblage est suffisant, vu que les joints d'une même courbe ne se correspondent point, et qu'on peut les serrer par des boulons ou des chevilles *x*, en même temps que les pièces accouplées sont liées par d'autres chevilles *y*.

On ménage la longueur des bois courbes en ne les croisant pas. On les pose bout à bout à plat joint, ou bien on les assemble par l'intermédiaire de petites courbes, comme celle marquée *K*, même figure, nommée *genou*, dont les joints peuvent être chevillés ou boulonnés.

§ 15. Assemblages vicieux.

Un assemblage est vicieux, quelque bien coupé qu'il soit, s'il a été

tracé suivant des principes différents de ceux que nous avons indiqués comme essentiellement nécessaires à la solidité. On ne doit jamais s'écarter de la règle qui prescrit que les saillies formées par les entailles et coupes du bout d'une pièce qu'on veut assembler dans une autre, seront en bois de fil et sans interruption, afin qu'il ne puisse s'en détacher aucun éclat. Les queues d'hironde, les endentures, les traits de Jupiter sont exceptés de cette règle, si leur longueur et l'inclinaison de leurs coupes sont telles qu'il n'y ait rien à craindre au sujet de la rupture d'aucune de leurs parties.

Une seconde règle à laquelle on doit s'astreindre, c'est que les coupes et entailles creusées pour recevoir les assemblages ne doivent avoir aucune partie de même espèce plus faibles les unes que les autres, devant toutes résister également.

La fig. 10, pl. XXII, représente en AB la projection de l'assemblage de deux pièces de bois, à tenon et mortaise. En $A'B$, $A''B'$, $A'''B''$, même fig., sont trois projections, sur des plans perpendiculaires à celui de la projection précédente, de trois modes d'assemblages à tenon et mortaise qui peuvent avoir la même projection AB .

L'assemblage $A'B$ est complètement vicieux, en ce que les fibres de la pièce A' qui se prolongent dans son tenon sont tranchées par les plans qui forment les joues dans ce tenon, ce qui peut donner lieu, suivant la ligne xy , à une rupture qui rendrait l'assemblage nul. L'assemblage $A''B'$, fig. 10, ne présente pas le même inconvénient, puisque le tenon est tracé entièrement suivant le fil du bois et qu'aucunes de ses fibres ne sont tranchées entre son about et sa racine. Mais de ce que les faces de parement qui sont projetées sur les lignes ab , bc , ne sont pas dans un même plan, il en résulte un autre vice; la joue de la mortaise du côté de la face répondant à la ligne ab ne présente pas la même résistance que la joue du côté opposé dc .

Pour que l'assemblage soit fait dans les bons principes, il faut que les faces de parement des deux pièces A'' , B'' soient de chaque côté dans un même plan, et qu'elles soient par conséquent parallèles et suivant la direction de celles de la pièce A'' , afin que le tenon de cette pièce soit entièrement à fil de bois et que les deux joues de la mortaise de la pièce B'' soient égales.

Si l'assemblage, projeté en AB , était oblique comme celui de la pièce E ponctuée, au lieu d'être droit, les embrèvements qu'on pourrait pratiquer ne changeraient rien à ce que nous venons de dire.

Autrefois les charpentiers et les menuisiers faisaient preuve de leur habileté en taillant diverses sortes de pièces composées, qui présentaient exté-

rieurement les apparences de plusieurs assemblages simples, dont l'emploi était reconnu impossible simultanément. C'est au moyen d'assemblages vicieux qu'ils parvenaient à exécuter ces tours d'adresse, dont ils présentaient le mystère à deviner aux personnes peu initiées dans leur art.

Nous avons représenté, fig. 11, deux de ces sortes d'assemblages. Pour le premier, la pièce *A* paraît assemblée dans la pièce *B* par un tenon *a*, apparent sur une face de parement, et par une queue d'hironde *b* apparente sur l'autre face. En *A*¹, la pièce *A* est représentée vue par son bout; au-dessus en *A*², elle est vue de côté et désassemblée; cette projection fait voir le tenon *a* et la prétendue queue d'hironde *b* qui est prise dans un second tenon, dont une joue est inclinée; et ses arêtes antérieures sont abattues par deux pans triangulaires *x y z*; les joues de la mortaise sont ouvertes sur la face de parement de la pièce *B*, par deux pans triangulaires *x y z*, qui correspondent aux deux pans égaux *x y z* du tenon *b* de la pièce *A*; ces pans donnent sur les faces de parement des deux pièces *A B* l'apparence de l'assemblage à queue d'hironde.

Pour mettre en joint on introduit le tenon de la pièce *A* en faisant glisser cette pièce parallèlement à elle-même, suivant la direction de la joue inclinée *m n* du tenon *b*, qui figure la queue d'hironde. L'autre tenon *a* vient s'appliquer dans l'entaille carrée qui lui a été préparée. Le vice de cet assemblage est qu'il n'a pas de stabilité dans le sens que son apparence annonce.

L'autre assemblage entre les pièces *E, B* présente l'apparence d'une queue en tréfle *c* et d'un tenon passant *d*; ce tenon est oblique, à fil de bois tranché; il traverse une mortaise inclinée suivant la pente nécessaire pour que l'about du tenon en tréfle puisse arriver à l'affleurement de la pièce *B* dans l'entaille qui lui a été préparée. En *E*¹ la pièce *E* est vue par le bout; au-dessus en *E*², elle est projetée de côté et désassemblée.

On peut disposer l'assemblage de façon que le tréfle soit détaché et ne paraisse pas tenir à la pièce *E*. On lui substitue toute autre figure, telle qu'un cœur, une rosette, etc.; il suffit pour cela que le tenon *c* qui doit présenter son about sur la face de parement soit un prisme incliné, et que sa base ait la figure qu'on veut produire.

Ces assemblages sont vicieux en ce que les fibres du bois sont tranchées dans les tenons, et que la figure apparente sur la face de parement de la pièce *B* ne tient pas les pièces en joint : ils ne sont point susceptibles d'une application utile. Il est très-difficile de les exécuter avec précision; aussi faisaient-ils, avec plusieurs autres du même genre, partie de ces espèces de chefs-d'œuvre qui prouvaient la dextérité des ouvriers.

CHAPITRE IX.

EXÉCUTION DES OUVRAGES EN CHARPENTE.

§ 1. *Dessins.*

D'après les règles que nous avons exposées dans le chapitre précédent, quel que soit le nombre des pièces de bois assemblées les unes avec les autres, sauf de rares exceptions, dès que les axes sont dans un même plan, leurs faces de parement sont dans des plans parallèles à celui des axes; et conséquemment leurs faces d'assemblages sont toutes normales à ces mêmes plans. Ce système, quelles que soient encore les figures qui résultent de la combinaison des pièces, forme un *pan de charpente* qui prend différents noms suivant les positions dans lesquelles il se trouve employé.

Si les assemblages étaient taillés avec une rigoureuse précision, toutes les pièces d'un plan de charpente qui serait établi verticalement, fonctionneraient exactement dans le plan de leurs axes, et le système devrait demeurer dans un équilibre complet. Mais, malgré tout le soin qu'on peut apporter dans l'exécution, on ne doit pas espérer une si grande perfection; d'ailleurs, une foule de causes étrangères à l'art, aussi bien que l'usage même de l'édifice, exercent sur un plan de charpente des efforts qui tendent à lui faire perdre sa forme plane; et elles le renverseraient infailliblement s'il n'était pas maintenu par d'autres pans de charpente qui le croisent, l'empêchent de plier ou de pencher dans aucun sens et lui assurent une stabilité parfaite.

La charpente équarrie des pièces de bois qui entrent dans la composition des pans de charpente, détermine le plus souvent la rencontre perpendiculaire de ceux qui doivent s'affermir mutuellement en s'assemblant dans des pièces communes. Cette disposition des pans convient également bien au système qui produit la solidité des constructions en charpente, et aux dispositions intérieures de tous les édifices. C'est ainsi que dans les bâtisses en bois, on voit des pans verticaux qui se rencontrent à angles droits pour former les parois des façades et des cloisons des compartiments intérieurs, tandis que des pans horizontaux, soit *entratures*, soit *planchers*, établissent des divisions à différents étages.

Lorsqu'on veut faire le projet de la composition d'une construction en charpente, le procédé le plus simple et le plus commode consiste à imaginer d'abord que les pièces qu'on veut employer sont des verges inflexibles, sans largeur ni épaisseur. On trace dans des proportions réduites et séparément les projets partiels des divers pans de la charpente, par de simples lignes qui représentent ces verges ou les axes des pièces. Parmi les figures qui résultent de la combinaison des lignes dans chaque pan, il en est qui doivent premièrement convenir aux formes que requiert la destination de la construction. D'autres figures qui ne sont pas d'une moindre importance dans le projet, doivent assurer la stabilité de la construction par l'effet de leur invariabilité. On fait entrer dans la combinaison de ces figures les lignes qui marquent les emplacements et les positions des pièces de bois qui doivent être communes aux divers pans qui se croisent.

Les principales lignes du projet étant ainsi établies, on y ajoute celles qui représentent les pièces auxiliaires, ayant pour objet ou de multiplier le nombre des figures invariables, ou de renforcer quelques parties que la flexibilité du bois rendrait trop faibles, ou enfin de distribuer des appuis et de contre-bouter certains efforts ou de les transmettre à des points invariables destinés à leur résister.

Lorsqu'on a ainsi satisfait à toutes les conditions et dans tous les pans par des projets linéaires, construits et tracés avec la règle et le compas sur une échelle proportionnée à la netteté des détails qu'on doit ensuite y ajouter, on trace, par d'autres lignes parallèles aux premières et d'après la même échelle, les épaisseurs des différentes pièces, pour qu'elles aient la force que requièrent leurs situations et les fonctions qu'elles ont à remplir, en commençant par les plus importantes, ou celles qui sont le plus élevées, et qui ont le moindre effort ou le moindre poids à supporter.

Dans la substitution des dimensions d'équarrissage des pièces aux lignes géométriques du projet linéaire, on fait correspondre les axes des pièces à ces lignes, à moins que celles-ci ne marquent quelques parois de l'édifice que les faces de la charpente doivent former, ou qu'elles ne doivent en être écartées d'une distance donnée. On est quelquefois forcé de dévoyer (1) les axes des pièces, pour rendre leurs assemblages exécutables et leur donner la solidité requise, si on n'a pas prévu, en traçant les premières lignes,

(1) *Dévoier* une pièce de bois, c'est établir son axe hors de la voie ou position qu'il semblerait naturel de lui faire occuper.

l'espace qu'ils exigent. On parvient de cette manière à la composition du projet complet de la construction en charpente qu'on s'est proposée : il ne reste plus quelquefois qu'à y ajouter l'indication des ferrements que commande la prudence pour assurer dans l'avenir la solidité des assemblages les plus importants.

Les dessins que donne ce premier travail répondent à ceux que les architectes appellent des *plans* et des *coupes* dans la représentation d'une bâtisse. Ils sont faits d'après les principes et les procédés de la géométrie descriptive. Ces dessins, cotés avec soin dans toutes les dimensions nécessaires pour fixer exactement les positions de toutes les pièces, par celles de leurs axes, ou celles de leurs faces qui ont quelques fonctions particulières à remplir, et pour indiquer les équarrissages de toutes les pièces, suffisent pour guider les charpentiers dans le tracé en grand des *ételons* qui doivent servir à l'exécution de la charpente projetée. On y joint quelquefois des projections de l'ensemble de la charpente, qui sont ses plans et ses élévations. Ces dessins supplémentaires n'ont pour objet que de faire juger l'effet général qu'elle produira, comme on juge par des dessins semblables de l'aspect des autres constructions.

On fait des projections du même genre pour représenter des charpentes exécutées. Mais l'étude des assemblages dans les positions qui résultent de la diversité des combinaisons des différents pans composant une charpente nécessitent d'autres dessins dans des proportions beaucoup plus grandes. Ces dessins se nomment *épure*, parce qu'ils sont faits avec précision, et qu'ils portent, comme preuve et épreuve des résultats, les traces de toutes les opérations qui ont concouru à leur construction. Les épures sont indispensables pour décrire complètement les assemblages compliqués ou qui contiennent quelques dispositions particulières et peu usitées, ainsi que pour s'assurer qu'ils sont appliqués suivant les vrais principes de l'art, et vérifier la possibilité de leur exécution et de leur mise en joint dans le levage.

Nous ferons l'application des opérations que ces épures comportent aux détails des combles, parce que ces parties des bâtiments offrent le plus grand nombre d'exemples des différentes situations dans lesquelles les pièces de bois se présentent les unes aux autres, et que c'est le genre de construction complexe que les charpentiers ont à exécuter le plus fréquemment, et qui est le plus propre à les rendre habiles dans la pratique de leur art.

La connaissance des assemblages que nous avons décrits au chapitre précédent, et la nouvelle étude que nous nous proposons de faire sur

quelques-uns d'entre eux dans les épures, dont nous venons de parler, seraient néanmoins sans utilité pour les charpentiers, s'ils n'y joignaient pas la connaissance du procédé le plus simple, comme le plus commode et le plus sûr, pour tracer et exécuter avec précision les assemblages.

Nous nous occuperons d'abord de ce procédé, parce qu'il est utile pour l'étude des épures, et principalement parce que nous avons à traiter, avant les combles, des diverses autres constructions auxquelles on peut en faire l'application.

§ 2. Sommaire du procédé d'exécution.

Piqué des bois. — La plupart du temps les pièces de bois qu'on doit employer dans une charpente ne sont point préparées ou équarrées avec une précision suffisante pour qu'on puisse, comme dans d'autres arts, rapporter sur leurs faces, avec la règle et le compas, ou par des patrons et d'après les épures, même faites en grand, les lignes qui doivent déterminer leurs dimensions en longueur et la position de leurs assemblages. Les pièces de bois sont d'une forme, d'un volume et d'un poids qui ne permettent pas de les renner facilement et de les tourner dans tous les sens autant de fois que le nombre des opérations qui seraient à faire le nécessiterait. D'ailleurs, en traçant chaque pièce indépendamment de celles auxquelles elle doit être assemblée, on introduirait dans la position et la forme des divers assemblages, vu la grande longueur des pièces, des erreurs qu'il serait presque toujours impossible de corriger, lorsque la mise en joint d'un pan les aurait fait découvrir. L'art de la charpenterie s'est créé un procédé particulier pour tracer avec précision les assemblages. Ce procédé est connu sous le nom de *piqué des bois*.

Les lignes suivant lesquelles les faces que nous avons déjà nommées faces normales se rencontrent dans l'assemblage de deux pièces de bois, sont les plus importantes à établir sur chacune, car c'est à ces lignes de *joint* que se rattachent les détails des assemblages; sur l'une des pièces elles limitent l'étendue de la portée ou occupation de l'autre pièce, et sur celle-ci elles marquent ses propres abouts.

Dans un pan de charpente dont les pièces seraient exactement équarrées, les lignes de *joint* seraient droites et perpendiculaires au plan des axes des pièces et à chacun de ceux des parements qui leur sont parallèles. Par conséquent, si un pan de charpente, quelle que soit d'ailleurs la position qu'il doit avoir définitivement dans un édifice, est supposé couché horizontalement

sur des chantiers, de façon que le plan des axes des pièces de bois qui le composent soit de niveau en tous sens, toutes les lignes de joint sont verticales, et un fil à plomb, qui peut leur être appliqué et qui coïncide parfaitement avec elles, est tangent en même temps aux deux faces normales qui forment par leur rencontre ces lignes de joint.

C'est sur cette observation qu'est fondé le principe du *piqué des bois*. En conséquence, pour procéder au piqué des pièces d'un pan de charpente, on établit toutes celles dont il doit se composer, précisément à plomb au-dessus des places qu'elles doivent occuper dans ce pan et qu'on a marquées d'avance sur le sol. On fait porter ces pièces les unes sur les autres en les croisant suivant le dessin, et de la longueur nécessaire à la coupe des assemblages; elles sont soutenues de niveau et de dévers (1) par des chantiers et des cales. Les faces normales de toutes ces pièces sont dans les mêmes plans verticaux qu'elles occuperont lorsqu'elles seront assemblées dans le pan couché horizontalement.

On conçoit qu'il est alors aisé de marquer sur les faces normales les lignes de joint; car elles sont les traces mutuelles des prolongements des plans dans lesquels se trouvent ces faces. Un fil à plomb qui pourra, comme précédemment, être tangent en même temps à deux faces qui doivent se joindre, donnera les prolongements de ces faces et coïncidera sur chacune avec la ligne de joint qui doit y être tracée. On remarquera sa position par deux points piqués sur chaque face avec la pointe d'un *traceret* ou celle d'un compas.

Ce procédé, qui est en même temps le plus exact, établit dans le travail un ordre parfait, qui économise beaucoup de temps. Pour le faire mieux comprendre, nous allons en faire l'application à une construction de charpente très-simple.

§ 3. Application à une charpente donnée.

La fig. 1, pl. XXVI, est la projection horizontale ou le plan d'une charpente; la fig. 2 est sa projection verticale ou élévation principale et de face, et la fig. 3 est une seconde projection verticale ou élévation latérale.

(1) Une pièce de bois est de *niveau* lorsqu'elle est établie horizontalement dans le sens de sa longueur; elle est de *dévers* lorsque sa face supérieure est horizontale dans le sens de sa largeur. Nous expliquerons plus loin comment on établit une pièce de niveau et de dévers.

Nous n'avons point cherché à donner à cette pièce de charpenterie un objet spécial, afin que ce que nous devons expliquer par son moyen soit plus général et s'applique à tous les cas qui se rencontrent.

Cette pièce de charpenterie est composée de quatre pans. Dans le premier, fig. 1, le plan des axes est horizontal; ce pan est composé de deux pièces horizontales *A A'* parallèles, et d'une troisième *B*, également horizontale, qui s'assemble avec les deux premières à mi-bois en les croisant à angle droit. Ces trois pièces forment une sorte d'*encrayure* ou un *patin* qui porte tout le reste de la charpente (1).

La complète stabilité de la figure que forment les trois pièces de ce pan exigerait qu'elles fussent maintenues à angles droits par deux entretoises *H, H*, et quatre goussets *I, I, I, I*, que nous n'avons indiqués que par des lignes ponctuées dans la projection horizontale fig. 1, et que nous n'avons pas comprises dans l'ensemble du pan, afin de ne pas le compliquer inutilement, et pour n'y point introduire des difficultés de mise en joint, dont nous n'avons point encore parlé.

Le second pan, fig. 2, est vertical et par conséquent perpendiculaire au premier; il est parallèle au plan de projection vertical; il comprend la pièce horizontale *B*, qui est commune avec le premier pan; deux montants *C, C'*, qui s'assemblent à tenons et mortaises dans la pièce *B* (leurs projections horizontales sont marquées par les carrés, cotés à leurs angles des chiffres 1-2-3-4, fig. 1); deux arcs-boutants ou jambettes, *D, D'*, qui s'assemblent à tenons et mortaises dans les montants *C, C'* et la pièce *B*; une croix de Saint-André formée des deux pièces *E, E'*, qui s'assemblent entre elles à mi-bois et avec les montants *C, C'*, à tenons et mortaises, et un chapeau *G*, dans lequel les montants *C, C'* sont assemblés aussi à tenons et mortaises. Les jambettes et la croix de Saint-André ont pour objet de maintenir les deux montants *C, C'* parallèles et perpendiculaires à la pièce *B*.

Le troisième et le quatrième pan sont égaux et perpendiculaires aux deux premiers, et conséquemment parallèles entre eux, ils ont la même projection verticale, fig. 3. Ils sont composés chacun d'une pièce horizontale *A*, commune avec le premier pan d'un montant *C*, commun avec le second

(1) Les mêmes grandes lettres indiquent les mêmes pièces, et les mêmes petites lettres indiquent les mêmes lignes dans les fig. 1 et 7 de la pl. XXIV, dans les fig. 1, 2, 4, 5 de la pl. XXV et dans les fig. 1, 2, 3, 4 de la pl. XXVI.

pan, et de deux jambettes *F*, *F'*, qui s'assemblent dans ces deux pièces et ont pour objet de les maintenir perpendiculaires l'une à l'autre.

§ 4. *Ételon.*

Pour exécuter la charpente que nous venons de décrire, on met en pratique ce que nous avons indiqué plus haut. Afin de se guider dans l'établissement des pièces au-dessus des places qu'elles occuperaient dans le pan dont elles doivent faire partie couché horizontalement, les charpentiers font sur le sol du chantier, qui doit être uni et horizontal, un tracé de grandeur naturelle qui ne contient que les lignes qui leur sont strictement nécessaires. C'est l'*ételon* ou *étalon*, dont nous avons déjà parlé. Les lignes de cet *ételon* sont les projections des axes des pièces qui doivent entrer dans la composition du pan pour lequel il est tracé. Ces lignes répondent à celle du *projet linéaire*, dont il a été question. L'*ételon* est en grand la copie exacte de ce projet.

Pour qu'on puisse faire correspondre exactement les axes des pièces verticalement aux lignes qui en représentent les projections sur l'*ételon*, ce que l'on appelle *mettre sur lignes*, il faut que ces axes soient rendus sensibles sur les faces des pièces, au moyen de lignes que l'on y trace au cordeau, opération que l'on nomme *ligner*. Nous indiquerons, un peu plus loin, les procédés au moyen desquels on ligue une pièce de bois pour faire paraître sur ses faces les projections de son axe par les traces de deux plans qui se coupent à angle droit dans ce même axe. Nous supposerons pour le moment que toutes les pièces qui doivent servir à la construction de la charpente dont nous nous occupons, ont été *liguées* sur toutes leurs faces. Des lignes fines indiquent, au milieu de la largeur de toutes les pièces des fig. 1 et 7, pl. XXIV; et sur les fig. 1, 2, 3, 4, 5, pl. XXV; 1, 2, et 3, pl. XXVI, les lignes dont il s'agit.

Chaque pan de charpente exigerait pour son exécution un *ételon* particulier; mais, comme le plus souvent on manque d'espace dans les chantiers, et que, d'ailleurs, on ne peut pas établir sur lignes tous les pans en même temps, surtout lorsque des pièces communes doivent figurer successivement dans plusieurs d'entre eux, les charpentiers sont dans l'usage de réunir tous les *ételons* des différents pans d'une même charpente en un seul. C'est ce que nous avons représenté par la fig. 4 de la pl. XXVI, qui contient toutes les lignes qui seraient tracées sur un *ételon* de grandeur naturelle, et qui seraient nécessaires à la mise sur lignes des quatre pans dont se

compose la charpente représentée par les dessins fig. 1, 2, 3, même planche. Effectivement, les lignes $a a'$, $a a'$, $b b'$, fig. 4, qui se croisent à angle droit au point k , recevront l'établissement sur lignes des pièces A , A' , B , qui forment le premier plan. Les lignes $m m'$, $m' m'$, $n n'$, $n' n'$, ont pour objet de marquer sur l'ételon les longueurs auxquelles ces mêmes pièces doivent être coupées.

Les lignes $b' b'$, $g g$, recevront, pour l'établissement sur ligne du deuxième pan, la pièce B qui aura déjà figuré dans le premier pan, et la pièce G . Les lignes $a a'$, $a a'$, recevront les pièces $C C'$, et les lignes $d e$, $d e$ recevront les pièces D , D' , E , E' . Les lignes $n n'$, $n n'$ fixent, comme précédemment, la longueur de la pièce B ; et les lignes $z y$, $z y$, marquent les coupes des bouts du chapeau G . On fait concourir ces deux lignes au point c' pour s'assurer qu'elles ont symétriquement des inclinaisons égales.

Enfin, pour l'établissement du troisième ou du quatrième pan, les lignes $c c'$, $b' b'$, $f f'$, $f f'$, doivent recevoir les pièces A ou A' , qui ont déjà figuré dans le premier pan, les pièces C ou C' qui ont figuré dans le deuxième, et les pièces F ou F' . Les lignes $w w'$, $w w'$ marquent sur l'ételon la longueur des pièces A ou A' , égale à celle qu'elles ont dans le premier pan.

§ 5. *Établissement des bois.*

Nous avons représenté, pl. XXIV, fig. 1, en projection verticale, et fig. 7, en projection horizontale, l'établissement sur ligne des pièces dans le premier pan. Les deux pièces A , A' , sont élevées sur des chantiers p , p (1), et établies sur les lignes $a a'$, $a a'$; la pièce B est posée sur la ligne $b b$; elle porte sur les pièces A , A' , sans aucune cale intermédiaire, de même que ces pièces portent sur les chantiers et ceux-ci sur l'ételon, parce que nous supposons le sol uni et les pièces exactement équarries; s'il y avait quelques inégalités dans le sol ou quelque imperfection dans l'équarrissement, on y remédierait en mettant sur ligne par le moyen de petites cales en forme de coins, qui assureraient la parfaite immobilité des pièces, l'exactitude de leurs positions de niveau et de dévers, et la précision de

(1) Pour qu'on puisse distinguer aisément dans les figures les pièces qui entrent dans la composition de la charpente de celles qui servent de cales ou de chantiers, nous avons figuré sur celles-ci des fibres atteintes d'un commencement de vétusté. La même distinction est observée sur toutes les figures, jusques et compris la 4^e de la pl. XXVII.

leur établissement sur lignes, conditions indispensables pour la perfection du piqué de bois et, par suite, de l'exécution des assemblages.

Nous avons également représenté, pl. XXV, fig. 4, en projection verticale, et fig. 4 en projection horizontale, l'établissement sur lignes des pièces qui doivent composer le second pan répondant à l'élévation représentée fig. 2, pl. XXVI.

La pièce *B*, qui a déjà figuré dans l'établissement sur lignes des bois du premier pan, fig. 1 et 7, pl. XXIV, est établie sur la ligne *b b* de l'ételon. La pièce *G* est établie sur la ligne *g g*. Ces deux pièces sont élevées sur les chantiers *g g*. Les deux pièces *C, C'* sont établies sur les lignes *a a', a a'*; elles portent d'un bout sur la pièce *G*, et de l'autre sur la pièce *B*, avec interposition pour chacune d'une cale *r*, pour qu'elles soient toutes deux de niveau.

Les deux pièces *D, D'* sont établies sur les lignes *d e, d e'*; d'un bout, elles portent immédiatement sur les pièces *C, C'*; de l'autre, elles sont soutenues de niveau par de hautes cales *s, s*, posées sur la pièce *B*.

Les deux pièces *E, E'*, de la croix de Saint-André sont établies sur les mêmes lignes *d e, d e'*; la pièce *E* porte d'un bout sur la pièce *D* et de l'autre sur une cale *t* qui l'exhausse au-dessus de la pièce *C* pour qu'elle soit de niveau. Cette cale *t* est ponctuée dans la projection verticale. Enfin la pièce *E'*, établie sur ligne la dernière, porte dans son milieu sur la pièce *E*, qu'elle croise, et est soutenue de niveau par un bout sur une cale *u*, posée sur une pièce *D'*, et par l'autre bout sur les deux cales *v, v*, superposées sur la pièce *C*. Ces deux cales sont ponctuées sur la projection verticale.

La fig. 2, pl. XXV, est une projection verticale, et la fig. 5 une projection horizontale de l'établissement sur lignes des pièces du troisième ou du quatrième pan, répondant à l'élévation latérale de la fig. 3, pl. XXVI.

La pièce *A'*, qui a déjà figuré dans l'établissement sur lignes du premier pan, fig. 1 et 7, pl. XXIV, est ici posée de niveau et de dévers sur deux chantiers *o, o*, et sur une ligne *b b* de l'ételon; le montant *C* pose d'un bout sur la pièce *A*, et est porté de l'autre de niveau et de dévers sur les deux chantiers *h, i*; le chantier *h* est ponctué dans la projection verticale; l'arc-boutant, ou jambette *F*, est établi sur une ligne *f f* de l'ételon, et, pour qu'il soit de niveau, il porte d'un bout sur la pièce *C* et de l'autre sur une cale *j* posée sur la pièce *A*. Le second arc-boutant *F'* est mis sur ligne et de niveau, en portant d'un bout sur le premier *F*, et de l'autre sur deux cales *k, l*, superposées sur la pièce *A'*. Il est entendu que toutes ces pièces sont de dévers.

Si le poids des arcs-boutants F, F' , qui portent dans l'établissement sur le montant C' , faisait fléchir ce montant, on aurait soin de placer sous le point de croisement de ces pièces un chantier avec cale, s'il en est besoin, pour soutenir la pièce C' ; on place le chantier et la cale de façon qu'ils ne gênent pas pour piquer les lignes de joints des pièces F, F' et de la pièce C' , dans la position ponctuée en H , fig. 5, pl. XXV; ce qu'on doit pratiquer toutes les fois qu'il est à craindre que des pièces fléchissent sous le poids de celles qu'elles soutiennent, dans l'établissement sur l'ételon.

§ 6. *Trait rameneret.*

Lorsqu'une pièce de bois, telle que l'une de celles marquées A, A', B, C, C' de notre charpente, est commune à plusieurs pans, on a soin de marquer sur l'ételon et sur cette pièce des *repères*, afin qu'en l'établissant sur ligne pour un pan, sa position soit d'accord, par rapport aux autres pièces, avec celle qu'elle doit avoir dans son établissement sur ligne pour un autre pan.

Le signe de *repère* dont les charpentiers font usage est appelé *trait rameneret*, parce que lorsqu'on établit sur ligne une pièce de bois portant ce repère, on le ramène sur celui de l'ételon.

Les traits *ramenerets* sont, sur les faces d'une pièce de bois, les traces d'un plan perpendiculaire à son axe passant par un point convenablement choisi, et sur les ételons, ils sont les traces de ce même plan situé verticalement pour les dispositions que peut avoir la pièce dans ses établissements sur les lignes des différents pans.

Les traits *ramenerets* sont distingués sur les pièces et sur les ételons par deux marques croisées en forme d' X .

$a b$, fig. 11, pl. XXVI, est le signe du trait *rameneret* sur une face d'une pièce de bois; il est toujours perpendiculaire à sa ligne de milieu $m n$; $a' b'$, fig. 12, est le signe du trait *rameneret* sur l'ételon; il est perpendiculaire à la ligne de l'établissement $m' n'$ de l'axe de la pièce pour laquelle il sert de repère.

Toutes les fois que cela est possible, on se sert de lignes déjà tracées. La ligne $c c'$ de l'ételon, fig. 4, pl. XXVI, sert de trait *rameneret* pour la position de la pièce B dans sa mise sur ligne, fig. 7, pl. XXIV, et la ligne $m' n'$, fig. 4 et 7, pl. XXV, sert de trait *rameneret* pour les positions des montants C, C' .

La ligne 5-6 de l'ételon, fig. 4, pl. XXVI, est tracée pour servir de trait ra-

meneret pour les montants CC dans leurs établissements, fig. 4 et 5, pl. XXV.

La même ligne 5-6, sur l'ételon, fig. 4, pl. XXVI, sert aussi pour les traits ramenerets des pièces $A A'$ dans leurs établissements de la fig. 7, pl. XXIV; la ligne 6-8 est leur trait rameneret sur l'ételon pour leur établissement, fig. 5, pl. XXV.

Autant que possible, on place les traits ramenerets de façon qu'ils ne soient jamais cachés par l'établissement sur ligne d'aucune pièce, afin qu'on puisse à tout instant vérifier, s'il est besoin, la coïncidence des traits ramenerets des pièces avec ceux de l'ételon. C'est ce qui est observé dans nos figures, excepté pour celui de la pièce C établi fig. 5, pl. XXV, qui se trouve caché par l'établissement des pièces F, F' , mais qui peut être remplacé par un deuxième trait rameneret pris sur la ligne mm' , comme on le pratique lorsque les pièces sont un peu longues.

§ 7. Marque des bois.

Lorsque les pièces d'un pan sont établies sur lignes et qu'on les a calées avec soin pour qu'elles soient parfaitement immobiles, de niveau et de dévers, on pique les joints en suivant les méthodes que nous indiquerons bientôt, et, lorsque le *piqué* est terminé, on fait la *marque des bois*, après quoi l'on procède à la reconnaissance des piqures et au tracé des assemblages, souvent même à leur exécution.

Ordinairement on assemble complètement un pan pour éprouver la perfection des assemblages avant d'établir sur ligne un autre pan; surtout lorsqu'il y a, comme dans le cas qui vient de nous occuper, des pièces communes qui doivent figurer dans l'établissement de plusieurs pans.

La *marque des bois* consiste dans une série de figures faites avec le tranchant du ciseau sur les pièces de bois pour reconnaître les emplacements qu'elles doivent occuper au moment du levage, et celles de leurs parties qui doivent être mises en joint pour former leurs assemblages.

La marque unique, qui sert à faire distinguer les pièces qui font partie d'un même pan, se répète sur la face de parement de chacune, et paraît à ses deux bouts.

Les marques qui ont pour objet de servir de repères aux assemblages sont faites près de ces assemblages; elles sont les mêmes pour les deux parties qui doivent se joindre: on les place le plus près possible du joint, bien entendu, sur les parties dont le bois ne doit pas être enlevé pour tailler l'assemblage ni recouvert par la mise en joint.

Quelques charpentiers préfèrent mettre les marques des assemblages sur les faces de parement, près des joints, pour qu'elles soient plus faciles à voir pendant le travail et plus apparentes quand la charpente est assemblée.

Il y a une infinité de systèmes de marque. Chaque maître charpentier peut avoir le sien; les meilleurs sont les plus simples, leurs signes sont les plus aisés à faire, les plus faciles à retenir dans la mémoire et à reconnaître, afin qu'on puisse, au moment du levage, juger rapidement, à la première vue d'une marque, le pan auquel une pièce de bois appartient, la place qu'elle doit occuper dans ce pan et les pans où elle doit être assemblée. Les compagnons doivent être au fait du système de marque adopté par le maître pour lequel ils travaillent, afin qu'ils puissent eux-mêmes marquer les bois sur l'ételon et les reconnaître pendant le levage.

Le système de marque le plus usité est celui dans lequel on se sert de lettres majuscules et de chiffres romains. Les lettres dont on ne fait pas usage en chiffres romains, sont employées de préférence pour marquer d'un même signe toutes les pièces d'un même pan, afin de ne pas les confondre avec les nombres qui servent de repères pour les assemblages, et qu'on nomme *contre-marques*. On adopte aussi d'autres signes pour marquer, lorsqu'il y a lieu, le *haut*, le *bas*, la *droite*, la *gauche*, des pans dont on ne reconnaîtrait pas, sans ce moyen, la position qu'ils doivent avoir.

Les lettres, les chiffres et tous les signes dont on fait usage pour marquer et contre-marquer ne doivent être composés que d'éléments en lignes droites, sans aucune partie courbe, afin qu'on n'ait pas besoin pour les tracer d'un autre outil que le ciseau ou la besaiguë.

On ne doit démonter un pan assemblé sur le chantier qu'après qu'on a vérifié avec soin toutes ses marques et contre-marques, afin qu'il n'y ait ni erreurs ni incertitudes au moment de son levage.

§ 8. Lignes de milieu et traits carrés sur les bois.

Nous avons considéré l'opération de l'établissement des bois sur l'ételon dans son ensemble; nous allons maintenant revenir sur ses détails et exposer comment on procède pour *ligner* et *contre-ligner* les pièces, les établir de *niveau* et de *dévers*, et sur les traits *ramenerets*.

A, fig. 5, 6, 7, pl. XXVI, sont trois projections d'une pièce de bois équarrie à la forêt et qu'il s'agit de *ligner*. Ses bouts sont coupés carrément, ce qui est le plus commode pour la simplicité et la justesse des opérations. Elle est posée sur des chantiers *B, B*.

Lorsqu'on a choisi la face qui est le mieux dressée, ou qu'on veut mettre en parement, on pose la pièce de façon que cette face soit en dessus et à peu près horizontale, on fait sur le milieu de cette face, qu'on voit dans son entier dans la projection horizontale, fig. 5, une plumée (1) limitée par les lignes ponctuées $z z, y y$. On bat au cordeau, dans le sens de la longueur de cette même face, une ligne $a a$, fig. 5, passant à chaque bout par le point a , qui partage sa largeur en deux parties égales (2).

La face horizontale sur laquelle la plumée est faite est projetée verticalement, fig. 6, sur la ligne $a a$; elle est vue dans son entier en projection horizontale, fig. 5; la ligne $a a$ est battue dans son milieu. On construit dans le milieu c de la plumée le trait carré $b d$ (3). On donne ensuite quartier à la pièce, afin que l'une des faces contiguës soit à son tour horizontale, pour y faire paraître la ligne de milieu, et tracer le *trait carré* sur la plumée qui a été préalablement faite. Nous supposons que cette seconde opération a été exécutée, que, donnant quartier en sens inverse, la pièce est revenue à sa première position, et que, par conséquent, la face sur laquelle cette seconde opération a eu lieu est projetée horizontalement, suivant la ligne $e e$, fig. 5, et vue en entier verticalement, fig. 6, avec la ligne $e e$ battue dans son milieu. La ligne $k h$ est le trait carré tracé sur la plumée, limitée sur cette face par les lignes ponctuées $z z, y y$.

(1) Une *plumée* est l'aplanissement de l'une des faces d'une pièce de bois dans toute sa largeur, et seulement sur 4 ou 5 centimètres d'étendue dans le sens de sa longueur. On fait une plumée en enlevant de minces copeaux avec le ciseau de la besaiguë, l'herminette ou le rabot, comme si l'on commençait à polir cette face pour perfectionner l'équarrissement. L'objet d'une plumée est de déterminer exactement la position de la face sur laquelle elle est faite, sans qu'il soit nécessaire de la dresser d'un bout à l'autre; $e p$, fig. 10, est le signe d'une plumée qui doit être faite sur une face d'une pièce de bois.

(2) Pour battre une ligne sur l'une des faces d'une pièce de bois, on établit la pièce de manière que sa face sur laquelle la ligne doit être battue soit, à très-peu près, de *dévers*, c'est-à-dire horizontale, afin que le plan dans lequel le cordeau doit cingler soit vertical, et que la ligne battue soit dans le plan qui passe par l'axe de la pièce. Si la face était verticale et la ligne à battre un peu longue, la pesanteur donnerait au cordeau, même en cinglant, une courbure dont se ressentirait la ligne battue, qui ne pourrait pas être regardée comme la trace d'un plan passant par l'axe de la pièce.

(3) Les charpentiers sont dans l'usage de nommer une perpendiculaire *trait carré*. Des points $x x$, fig. 5, pl. XXXVI, pris sur la ligne de milieu $a a$ à égales distances du point c , milieu de la plumée, on trace légèrement, avec la pointe du compas, des arcs de cercle qui forment les sections b, d , par lesquelles passera le *trait carré* $b d$. La ligne $t s$, fig. 9, est un *trait carré*, par rapport à la ligne $f g$. On trace le trait carré avec la jauge, à moins qu'il ne soit très-long, auquel cas on le bat avec le cordeau, et l'on fait une piqure à chaque section b, d , pour conserver sa position si la ligne battue s'effaçait.

Les plumées des faces contiguës se correspondent, et l'on a ordinairement le soin de faire correspondre aussi leurs *traits carrés* (1), afin de déterminer exactement la position d'une équerre, comme elle est représentée en *M* sur l'arête de la pièce *A*, fig. 11, pl. V, vu qu'il est toujours utile que les plumées des faces contiguës soient perpendiculaires l'une à l'autre, comme le seraient ces faces si l'on achevait de les dresser dans toute leur étendue.

§ 9. Établissement de dévers.

Les premières lignes dont nous venons de parler, tracées sur deux faces contiguës, suffisent pour établir une pièce de dévers, position indispensable pour la contre-ligner.

Pour mettre la pièce *A* de dévers, on pose sur le trait carré *bd* de la première plumée xy, yz , un niveau comme nous l'avons représenté en *C*, fig. 8, pl. XXVI, qui est une projection verticale dans laquelle la pièce est vue par le même bout que dans la fig. 7. Au moyen de *coins de dévers*, placés comme il convient, entre la pièce et le chantier *B*, comme celui *m*, on parvient à faire coïncider le fil du niveau avec son trait à plomb : la pièce est alors de dévers. Il s'agit actuellement de la contre-ligner; il faut, pour cela, faire paraître sur ses deux autres faces les lignes qui doivent être les projections de son axe. Les lignes battues sur des faces parallèles doivent être dans un même plan, et les deux plans, passant chacun par les lignes de milieu de deux faces perpendiculaires, doivent se couper à angle droit dans l'axe de la pièce.

Pour contre-ligner la face parallèle à celle vue dans la projection verticale, fig. 6, on pose le niveau *C* sur un bout de la pièce, comme il est représenté fig. 8. Attendu qu'il n'y a point de plumée sur le bout de la pièce, et que nous ne la supposons point refaite d'un bout à l'autre, mais bien dans l'état où elle est sortie des mains du doleur de la forêt, il peut se faire que, par l'effet de quelque irrégularité du bois, le fil du niveau ne coïncide pas avec sa ligne à plomb. On détermine cette coïncidence au moyen d'une petite cale placée entre le niveau et la pièce, du côté où il

(1) Pour que le trait carré *kh* coïncide avec le trait carré *bd*, il faut que le point *k* soit commun aux deux. Du point *k*, fig. 5, on trace un arc de cercle qui coupe la ligne *ec* en deux points *t*, et d'une seule ouverture de compas on fait la section *h*, qui détermine, avec le point *k*, la position du trait carré.

convient de soulever le niveau (1). Dans cette position du niveau, il est certain que son dessous sr est dans un plan de niveau, et, par conséquent, parallèle à la plumée sur laquelle on a tracé le trait carré bd ; faisant alors tenir le niveau solidement; pour qu'il ne se dérange pas, on prend avec le compas la distance verticale se du dessous sv du niveau à la ligne ee projetée, fig. 8, en e , et l'on porte cette distance verticalement sur la face opposée, en dessous du niveau de v en o , on pique le point o . En faisant la même opération à l'autre bout de la pièce, on a la position de la ligne oo , qui sera nécessairement dans le même plan horizontal que la ligne ee , et qui est projetée, fig. 6, sur cette même ligne.

Pour contre-ligner la face inférieure, on présente un fil à plomb FG au bout de la pièce, fig. 7, on le fait correspondre au point a , et l'on pique en dessous le point i correspondant au fil à plomb. En répétant la même opération à l'autre bout, la position de la ligne ii est déterminée; cette ligne se trouve dans le même plan vertical que la ligne aa , fig. 5, qui est aussi sa projection horizontale (2).

On donne quartier à la pièce A pour que la face sur laquelle la ligne oo doit se trouver soit horizontale, et l'on bat la ligne oo . On donne ensuite une seconde fois quartier pour placer en dessus la face sur laquelle doit se trouver la ligne ii , qui est immédiatement battue. On trace enfin sur les deux bouts les lignes ai, eo , fig. 7 qui se coupent dans le point g , bout de l'axe de la pièce.

Cette opération terminée, la pièce A est complètement *lignée*. Attendu que les lignes battues sur les faces des pièces peuvent être effacées, on fait des repères pour conserver des traces de leurs positions et n'avoir qu'à les battre de nouveau, sans être obligé de recommencer les opérations que nous venons de décrire. Le moyen le plus simple, c'est de piquer fortement à chaque bout un point de chaque côté et à égales distances de ceux qui ont primitivement servi à déterminer leurs positions. C'est ce que

(1) Cette cale n'est pas indiquée dans la figure.

(2) Le vent et la position gênante de la main rendent assez difficile l'opération de piquer exactement le point i en dessous de la pièce A . On use alors d'un autre moyen, qui est représenté fig. 11, pl. VI.

La pièce A étant, comme nous l'avons dit, établie de niveau et de dévers sur ses chantiers B, B , et vue dans cette figure par l'un de ses bouts, on pose une équerre à épanlement, bien vérifiée M sur sa face supérieure, de façon que son corps pendre sur le côté et à une petite distance de la face latérale de la pièce. On établit au-dessus de cette

nous avons indiqué dans nos figures par deux points qu'on remarque aux bouts de chaque ligne.

Si les pièces de bois étaient équarrées avec précision et leurs faces refaites et polies avec soin, comme il est indispensable qu'elles le soient pour des charpentes importantes, on pourrait, pour les ligner, se contenter de battre des lignes qui passeraient par les points du milieu de la largeur aux deux bouts de chaque face. Cette apparente diminution de travail ne dispenserait cependant pas de vérifier l'exactitude du résultat de ces opérations, vu que, comme nous l'avons déjà dit, la précision du piqué des lignes de joint et du tracé des assemblages, dépend de celle avec laquelle les pièces sont *lignées* et établies sur les ételons.

Le moyen de vérification le plus simple serait de s'assurer que les lignes *a i*, *e o*, fig. 7, pl. XXVI, se coupent à angle droit, en appliquant immédiatement une règle *R* au trait *e o*, fig. 12, pl. V, et une équerre *N* au trait *a i*, ou au niveau *H*, fig. 12, pl. VI, dont on laisserait pendre le fil un peu plus bas que la pièce pour qu'on pût juger, sur une plus longue étendue, sa coïncidence avec la ligne à plomb *x y* de l'instrument et le trait *a i*.

Pour que la vérification soit plus exacte, on doit se servir du niveau et du compas, de la manière indiquée par la fig. 8, pl. XXVI. S'il y avait quelque erreur à redresser, il faudrait en revenir à l'exécution de toutes les opérations que nous avons décrites. Il est donc plus certain et plus court, quelle que soit la perfection de l'équarrissement d'une pièce de bois, de procéder complètement, comme nous l'avons exposé, sauf qu'il n'y a point de plumée à faire si les faces sont dressées et polies avec précision.

Il arrive quelquefois qu'une pièce de bois qui doit être *lignée* et *contre-lignée* est débillardée de façon que ses faces ne sont point d'équerre entre elles. La fig. 3, pl. XXV, représente le quadrilatère de débillardement d'une pièce de cette sorte *O*, vue par le bout. On peut l'établir de dévers

équerre un niveau *G*; au moyen d'une cale placée convenablement, en *m*, par exemple, on amène le fil du niveau en coïncidence avec sa ligne d'à plomb. Dans cette position le dessous de la branche *p r* de l'équerre est dans un plan horizontal parallèle à celui de la plumée, et le corps de l'équerre *p s* est vertical. On prend alors, avec un compas, la distance de la ligne *a a*, projetée en *a*, au point *p*, pour la reporter en dessous de la pièce de *y* en *i*: on en fait autant à l'autre bout, et la position de la ligne *i i* est déterminée très-exactement. Ce procédé donne un moyen de vérification, vu que l'équerre, qui pend ici à droite, peut être placée à gauche, et si l'on a bien opéré, on doit obtenir le même point *i*.

par le surplomb que doit avoir sa face projetée sur le côté mn ; on donne ce dévers au moyen d'une cale convenablement placée sous le point v , et d'un fil à plomb FG , à l'aide duquel on fait correspondre l'arête du point m avec une ligne battue sur le chantier B , parallèlement à la pièce, à la distance ux , prise sur l'épure, ou bien avec la face d'un petit bloc de bois b , fig. 11, pl. VII, convenablement taillé d'après la même épure, et qu'on a soin d'appliquer toujours à la même place lorsqu'on en fait usage.

On peut également donner le dévers par le talus uz de la face uv , au moyen d'un fil à plomb HJ , même fig., et d'un compas ou de deux points u, z , marqués sur une règle R , fig. 12, pl. VII, qu'on applique sur la face supérieure, perpendiculairement à l'arête du point u ; ou enfin, au moyen d'une cale clouée d , fig. 12, pl. VII, à laquelle on donne une épaisseur uz prise sur l'épure, et contre laquelle on appuie le fil à plomb avec lequel l'arête du point v doit se trouver en contact. Il est cependant plus exact de se servir, pour donner le dévers à la pièce A , ou d'un niveau de pente N , fig. 13, pl. VII, qu'on pose sur la face supérieure de la pièce, que nous supposons bien dressée, et au besoin sur une plumée faite exprès, ou d'un niveau de talus P , fig. 12, ou enfin d'un niveau ordinaire Q , fig. 8, pl. X, sous l'un des bouts duquel on met une cale g taillée convenablement d'après l'épure (1).

Pour tracer les assemblages de cette pièce, il est indispensable qu'elle soit contre-lignée comme toute autre sur ses faces. La fig. 3, pl. XXV, représente à cet effet une opération analogue à celle que nous venons de décrire, fig. 8, pl. XXV. On bat d'abord les lignes de milieu de la face supérieure et d'une face latérale répondant au côté mn , la première passant par le point a , la seconde par le point e . La pièce A étant de dévers, comme nous venons de l'expliquer, on établit carrément à un bout un niveau ordinaire N , on le cale pour que son fil réponde sur sa ligne à plomb. On prend avec le compas la distance verticale de la ligne passant par le point e au point k du dessous de l'équerre, et sans changer l'ouverture du compas, on la porte verticalement sur la face opposée, de l en o , où l'on pique un point. On en fait autant à l'autre bout de la pièce, et la position de la ligne de la seconde face est déterminée. Pour la ligne de la face inférieure, on suit le procédé indiqué page 317, fig. 11, pl. VI, après quoi il ne reste plus qu'à battre les lignes oo, ii , qui passent par

(1) C'est le moyen dont se servent les scieurs de long pour donner le dévers aux pièces débillardées, afin que leurs traits de sciage puissent être tracés dans des plans verticaux.

les points *o* et *i*, avec les précautions que nous avons indiquées dans la note 2 de la page 315.

Les lignes par lesquelles on joint sur chaque bout le point *e* avec le point *o* et le point *a* avec le point *i* se coupent à angle droit, et celle *a i* pourrait, à la rigueur, servir à mettre la pièce de dévers au moyen de sa coïncidence avec un fil à plomb *K D*. Les lignes *a i e o* pourraient aussi servir à *priori* pour déterminer les positions des quatre points, *a, e, i, o*. Ainsi, la pièce étant posée de dévers sur ses chantiers, comme la pièce *U*, fig. 3, pl. XXV, le trait qui détermine les points *a, i* est tracé par le moyen d'un fil à plomb *P Q*; les sections 1, 2, tracées des points 3, 4, marquent la position du trait carré et celles des points *a, o*, qui en sont les extrémités. Mais les autres méthodes que nous avons indiquées sont préférables.

§ 10. Établissement de niveau.

Pour mettre la pièce *A*, fig. 5 et 7, pl. XXVI, de niveau, on présente un fil à plomb *P Q* au trait carré *h h*, et au moyen de cales placées au bout qu'il convient d'élever, on fait coïncider le trait carré avec le fil à plomb; la pièce est alors de niveau. Mais, comme le trait carré est fort court, et que son exacte coïncidence est quelquefois difficile à saisir, on préfère souvent le procédé indiqué fig. 2 et 8, pl. XXIV, dans lequel la pièce *A* est représentée dans deux projections verticales, portée sur des chantiers *R, R*. On applique une règle bien dressée *D* contre la face verticale de la pièce *A*, on la fait coïncider exactement avec la ligne de milieu *e e* tracée sur cette face, on la fait tenir à chaque bout par un compagnon qui veille à sa coïncidence; on pose dessus, et dans son milieu, un niveau *E*, et l'on amène son fil à plomb en coïncidence parfaite avec le trait marqué sur sa traverse en faisant placer sous la pièce, au bout qu'il s'agit d'élever, des cales *g*. Cette méthode est préférable à la précédente, parce que la longueur de la ligne *e e* et la longueur du fil à plomb du niveau qu'on prend le plus grand possible, donnent une plus grande exactitude que la coïncidence du trait carré de la fig. 6, pl. XXVI. Cette exactitude est indispensable dans les charpentes grandes et soignées, parce que c'est du niveau parfait des pièces que dépend la justesse du *piqué des bois*, et par conséquent celle des assemblages.

On a parfois besoin d'établir, dans un même plan horizontal, les axes de plusieurs pièces d'inégales épaisseurs. Les fig. 4, 5 et 6, pl. XXIV, représen-

tent cette opération par deux projections verticales et à l'égard de deux pièces, *A*, *B* seulement, vu qu'elle est la même quel qu'en soit le nombre.

Les pièces sont équarries; la première est la plus épaisse, elle est établie sur ligne, de niveau et de dévers, portée sur ses chantiers *P*, *P*. La seconde pièce *A* est également établie sur des chantiers *Q*, *Q*. On pose une règle *L*, surmontée d'un niveau *N*, d'un bout sur la pièce *B* et de l'autre bout sur une ou deux cales *S*, portées par la pièce *B*, et qui sont réduites à une épaisseur exactement égale en somme à la demi-différence des épaisseurs des pièces *A* et *B*, c'est-à-dire, égale à la différence de la distance *ea*, du trait *eo*, à la surface supérieure de la pièce *A*, avec la distance *gn*, du trait *tu*, à la surface supérieure de la face *B*. Les choses étant ainsi disposées, on exhausse la pièce *B* sur une ou deux cales *q*, suffisamment épaisses pour que, la règle *L* étant de niveau, les distances verticales *am*, *nn*, des lignes du milieu des pièces *A*, *B*, au-dessous de la règle *L*, soient égales, et l'on vérifie en même temps si la pièce *B* est sur ligne de niveau et de dévers.

La projection verticale, fig. 4, représente la même opération pour deux pièces d'épaisseurs inégales et débillardées. Les mêmes lettres indiquent, sur cette figure, les mêmes opérations : au lieu d'une règle surmontée d'un niveau, on y a figuré une règle-niveau *L*, dont on fait souvent usage.

On a indiqué sur cette même figure l'opération par laquelle on marque, lorsqu'il en est besoin, sur la face en talus *vw*, de la pièce *A*, le niveau ou l'affaissement de la face supérieure de la pièce *B*. On prend avec un compas la distance *xz*, on la porte, avec le même compas, verticalement de *v* en *y*. Ayant piqué le point *y*, on bat par ce point une ligne parallèle à celle qui passe par le point *o*.

Lorsqu'on doit rapporter une distance verticale *ke*, fig. 3, pl. XXV, sur une face en surplomb répondant à la ligne *mn* de la pièce *O*, on doit prévoir que la position du compas exigera que la règle horizontale ou le niveau soient assez exhaussés sur les cales pour que la pointe du compas *Z* puisse passer par-dessus l'arête de la pièce répondant au point *m*, pour atteindre le point *k*, du dessous du niveau, verticalement au-dessus du point où l'autre pointe du compas atteindra en *e* la face en surplomb.

§ 11. Mise sur lignes de l'ételon.

Mettre une pièce de bois sur ligne, c'est faire correspondre son axe verticalement au-dessus de la ligne de l'ételon qui le représente, cette pièce

étant d'ailleurs de niveau et de dévers. Pour mettre une pièce de bois sur ligne, on la pose sur les chantiers et cales qui doivent la soutenir de niveau, à la hauteur que nécessite sa combinaison avec les autres pièces, pour l'établissement sur l'ételon. On la place à peu près sur l'emplacement qu'elle doit occuper, puis on la met de dévers avec des coins, et par les moyens que nous avons indiqués, après quoi l'on applique à chacun de ses bouts, et en coïncidence avec la ligne de milieu de sa face supérieure, un fil à plomb, le plus long possible, sans cependant que le plomb touche à terre, puis, en bornoyant de haut en bas, en plaçant l'œil en avant, et comme si l'on était couché sur la pièce, quoiqu'on se tienne debout, et l'ayant du même côté que la main par laquelle on tient le fil (c'est le plus souvent à droite), on fait mouvoir la pièce jusqu'à ce que le fil à plomb et la ligne tracée sur l'ételon coïncident. Ils sont alors dans un même plan vertical (1). Si l'on a opéré en même temps, de la même manière et exactement, aux deux bouts de la pièce, et que, par conséquent, les coïncidences y aient lieu simultanément, l'on est assuré que la pièce étant de niveau et de dévers, ce qu'on doit vérifier, son axe est dans le plan vertical qui passe par la ligne de l'ételon.

On met sur trait *rameneret* de la même manière. On applique le fil à plomb à l'un des bouts du trait *rameneret*, tracé sur la face horizontale de la pièce, ou sur celui tracé sur la face contiguë qui est verticale, et l'on fait mouvoir la pièce dans le sens de sa longueur, pour faire coïncider le fil à plomb avec le trait *rameneret* de l'ételon dans un même plan vertical. Le repère est alors satisfait.

S'il s'agit de rapporter le trait *rameneret* de l'ételon, sur la pièce mise une première fois sur ligne, après qu'elle est établie de niveau et de dévers, et dans la position qu'elle doit avoir, on place le fil à plomb contre la pièce, et on l'amène en coïncidence parfaite avec le trait *rameneret*. On pique alors sa position, soit sur la face horizontale, soit sur la face verticale de la pièce, dont la position se trouve repérée, pour lui être donnée lors de son établissement dans un autre pan. On opérerait en sens inverse s'il s'agissait de transporter, d'une pièce sur l'ételon, un trait *rameneret* qui aurait été oublié; car tous les traits *ramenerets* doivent être marqués d'avance sur l'ételon.

Une pièce de bois n'est regardée comme prête à être piquée que lorsqu'elle

(1) Quelques charpentiers se contentent de faire coïncider le centre du plomb avec la ligne de l'ételon; mais la méthode que nous indiquons, qui est suivie par d'autres, est plus exacte, en ce qu'elle donne une coïncidence plus étendue. On peut, au surplus, faire usage de l'une et de l'autre simultanément.

est exactement sur ligne, de niveau et de dévers, et sur trait rameneret, lorsqu'il y a lieu. On s'assure de l'exactitude de son établissement par des vérifications répétées, à mesure qu'on élève les pièces les unes au-dessus des autres. Chaque pièce d'un pan de charpente doit être solidement calée et établie sur ligne, de niveau et de dévers, avant qu'on établisse aucune autre pièce au-dessus d'elle, et lorsqu'une nouvelle pièce est établie, on doit vérifier l'établissement de celles sur lesquelles elle porte et même celles antérieurement établies, pour s'assurer qu'elles n'ont point été dérangées.

§ 12. Piqué des bois carrés.

Nous avons déjà remarqué, § 9, que les lignes tracées sur deux faces contiguës d'une pièce de bois, suffisent pour l'établir de dévers, position nécessaire pour contre-ligner ses deux autres faces. Il est également nécessaire que cette pièce soit de dévers, et de plus, sur ligne et de niveau, lorsqu'il s'agit de piquer ses lignes de joint avec les autres pièces qui entrent, comme elles, dans la composition d'un pan. Si l'on contre-lignait les pièces avant de piquer leurs joints, comme on est obligé, pour battre les *contre-lignes*, de donner quartier, ainsi que nous l'avons vu, il faudrait, après avoir contre-ligné, mettre une seconde fois les pièces de dévers pour les piquer. Les charpentiers sont, en conséquence, dans l'usage de mettre sur ligne, de niveau et de dévers, et sur traits ramenerets les pièces qui portent ces repères, dès qu'ils ont fait paraître les lignes des axes et tracé les traits carrés sur deux faces contiguës de chacune; puis ils piquent immédiatement, avant de contre-piquer, et de battre les *contre-lignes*. Ils évitent ainsi de mettre deux fois de dévers, et ils gagnent beaucoup de temps, sans rien omettre pour l'exactitude du travail, les *contre-lignes* n'étant nécessaires que pour tracer les détails des assemblages après qu'on a piqué les joints. Néanmoins, pour ne point séparer les opérations qui ont pour objet de ligner et de contre-ligner, qui sont liées par des principes communs, nous avons parlé des *contre-lignes*, dans le paragraphe 8, avant de traiter, au présent paragraphe, de celles qui concernent le piqué du bois.

On ne doit commencer à piquer les pièces de bois d'un pan de charpente que lorsque l'établissement de toutes celles qui doivent le composer est complet, et après qu'on s'est assuré, par une dernière vérification, de l'exactitude de leurs positions et de leur immobilité.

La fig. 1 de la pl. XXVII représente en projection horizontale et en pro-

jection verticale l'assemblage à tenon et mortaise de deux pièces de bois *A, B*, pareil à celui que nous avons déjà décrit fig. 1, pl. XV. Les deux lignes *nn, mm*, fig. 2, supposées tracées sur le sol du chantier faisant partie de l'ételon, sont celles sur lesquelles les deux pièces *A, B* doivent être établies; *gg* est un trait rameneret également tracé sur l'ételon pour le repère de la pièce *A*.

La fig. 4 est la projection horizontale de l'établissement de deux pièces *A, B* sur la partie de l'ételon représentée par la fig. 2; la fig. 3 est la projection verticale de cet établissement. Les deux pièces sont lignées, comme nous l'avons dit, chacune seulement sur deux faces contiguës; l'une de ces faces, pour chaque pièce, est horizontale et se présente dans son entier dans la projection horizontale; pour la pièce *A*, cette face porte sa ligne de milieu *aa'*, et pour la pièce *B*, elle porte la ligne *bb'*. Les deux pièces sont établies sur lignes de niveau et de dévers par les procédés que nous avons précédemment décrits. La pièce *B* établie, la première porte sur deux chantiers *d, d*. La pièce *A*, que nous supposons être établie sur ligne pour la première fois, n'a point encore de trait rameneret, elle est portée sur deux chantiers *c, f*, et sur une cale *h*. On a tracé sur les deux pièces leurs traits carrés sur leur plumées; ceux de la pièce *A* sont marqués des lettres *k j, k l*, avec le signe des plumées.

La fig. 6 représente, en projection horizontale, et la fig. 5, en projection verticale, les mêmes pièces *A, B* établies, comme dans les figures précédentes, avec leurs lignes de milieu et l'indication des positions des fils à plomb et des compas, pour piquer les lignes de joints.

Lorsqu'il arrive que le bout d'une pièce, comme celle *A*, ne dépasse point celle à laquelle elle doit être assemblée et sur laquelle elle pose, ce que nécessite ordinairement l'économie du bois, on est forcé de suppléer sa longueur lorsqu'il s'agit de la mettre sur ligne, par une règle *p*, fig. 5 et 6, qu'on applique avec précision sur la ligne de milieu *aa'*; on la fait tenir par un compagnon, ou on l'attache avec deux pointes, comme on le suppose dans la fig. 6; c'est contre cette règle qu'on appuie le fil à plomb *C Q*, fig. 5, qui sert à faire coïncider le prolongement *a'a''*, fig. 6, de la ligne *aa'* avec la ligne *mm*; tandis que le fil à plomb *D P* sert à faire coïncider le bout *a* avec la même ligne *mm*.

La pièce *B* a été mise sur ligne, au moyen des fils à plomb, projetés sur celui *ER*, fig. 5, pour faire coïncider sa ligne de milieu *bb'* avec la ligne *nn*.

Dans l'assemblage à tenon et à mortaise, représenté fig. 1, les deux pièces *A, B* forment deux joints projetés horizontalement, l'un sur le

point x , l'autre sur le point z , et tous deux verticalement sur la ligne $z v$. Chaque joint donne lieu à une ligne de joint sur chaque pièce. Ces lignes de joint se trouvent projetées horizontalement sur les pièces établies sur ligne, fig. 3 et 4, aux points marqués des mêmes lettres, x et z , et verticalement par les parties de la ligne verticale $z v$, qui répondent aux épaisseurs des pièces A, B ; d'où il suit qu'il faut piquer pour cet assemblage quatre lignes de joint.

On pique en même temps, sur les deux pièces, les deux lignes de joint qui se trouvent dans la même verticale.

Supposons qu'il s'agisse de piquer d'abord les deux lignes de joint qui répondent au point x , fig. 6; on se place en dehors de l'angle $X x Z$ formé à ce point; on avance le corps et les bras par-dessus les deux pièces, et l'on applique en x un fil à plomb F, T , fig. 5, qu'on tient de la main gauche contre leurs faces verticales, de façon qu'il les touche en même temps et également toutes deux (1). On porte de la main droite, en courbant le poignet, au-dessous de la pièce A , à la hauteur de la pièce B , un compas (2) qu'on tient presque à poing fermé, les ongles en-dessus, dans la position marquée en X , fig. 6, le plat de sa branche dans le plan de la face verticale de la pièce A , sa pointe étant tangente au fil à plomb, qu'elle laisse en dehors. On pique, avec cette pointe, le long du fil, deux points dans la face verticale de la pièce B , à 15 millimètres environ, l'un, de son arête inférieure, l'autre de son arête supérieure.

Sans changer la position du corps, ni celle du fil à plomb, on courbe et l'on allonge le poignet de la main qui tient le compas, qu'on a retourné pour le porter au-dessus de la pièce B à la hauteur de la pièce A , dans la situation qu'il a en Z , le plat de sa branche étant dans le plan de la face verticale de la pièce B , sa pointe tangente au fil à plomb, qu'elle laisse en dehors; on pique sur la face verticale de la pièce B deux points, l'un à un demi-pouce de son arête inférieure, l'autre à un demi-pouce de son arête supérieure. Lorsque les quatre points sont piqués le long du fil à plomb $F T$, fig. 5, projeté horizontalement en F , on prend à l'égard de l'angle $V z Y$ une position analogue à celle qu'on a prise à l'égard de l'angle $X x Z$, fig. 6. On pique de la même manière les quatre points qui doivent donner la position des deux lignes de joint projetées horizontalement au point z . Pour les

(1) On peut appuyer la main qui tient le fil à plomb sur la pièce A pour qu'elle soit plus fixe.

(2) Ou une pointe de traceret.

deux points qui doivent être piqués sur la pièce *B*, on donne au compas la position *Y*, et pour les deux autres points qui doivent être piqués sur la pièce *A*, on donne au compas la position *V*.

On piquerait de la même manière les lignes de joint de deux pièces qui se croiseraient pour s'assembler par entailles à mi-bois.

Quel que soit l'angle que les pièces de bois font entre elles, quel que soit même le mode de leur assemblage, le procédé est le même, et, tant que les bois sont équarris, il ne présente pas plus de difficultés, sinon qu'on est quelquefois obligé de prendre une position plus ou moins gênante pour atteindre entre les pièces de bois qui font un angle de gorge fort aigu, y porter le compas et juger avec certitude sa position. L'exactitude du piqué des bois, comme nous l'avons fait remarquer déjà, dépend de celle avec laquelle les bois sont lignés et établis sur l'ételon; mais il faut ajouter qu'elle dépend, en outre, presque autant de l'habileté du charpentier, qui ne peut acquérir l'adresse de la main et la sûreté du coup d'œil, que par la pratique guidée par l'intelligence.

On pique les pièces, en commençant par les plus élevées. Lorsqu'on a piqué complètement toutes les pièces d'un pan de charpente, qu'on les a *marquées* et *contre-marquées*, ainsi que leurs assemblages, et qu'on a enfin contre-piqué les lignes qu'on doit battre sur les faces d'assemblage qui n'ont point été lignées, on donne quartier aux pièces pour battre ces lignes, comme nous l'avons expliqué page 90. On peut ensuite enlever les bois de dessus l'ételon, pour faire place à l'établissement d'un autre pan. On place les bois piqués, les uns à côté des autres, sur des chantiers et en bon ordre, pour faire la reconnaissance des piqures et tracer les détails des assemblages. Quelques charpentiers préfèrent, avec raison, reconnaître les piqures et même tracer les bois avant de les enlever de l'ételon, pour que les points ne s'effacent pas, et parce que, les pièces étant encore à leurs places, on procède avec plus d'ordre et plus commodément; et que, s'il arrivait qu'on eût oublié quelque piqure, on pourrait remettre immédiatement sur ligne les pièces sur lesquelles elles manqueraient, opération qui serait trop longue si tout l'établissement était démonté, et impossible si l'ételon était occupé par d'autres bois.

Nous avons marqué par de gros points, sur les pièces établies dans les fig. 1 et 7, pl. XXIV, 1 et 4, 2 et 5, pl. XXV, les piqures qui y ont été faites, en supposant qu'elles ont déjà été piquées lorsqu'elles sont communes à plusieurs pans.

§ 13. *Reconnaissance des piqûres.*

La fig. 8, pl. XXVII, représente, en projection horizontale, les deux mêmes pièces *A*, *B* de la fig. 6, après qu'elles ont été piquées. Elles sont vues dans le même sens, mais elles sont séparées. On leur a conservé des positions parallèles à celles qu'elles avaient sur ligne, pour qu'on puisse mieux les comparer de l'une à l'autre figure.

En A^1 , A^2 , B^1 , ces pièces sont représentées, toujours en projection horizontale, après qu'on leur a donné quartier pour établir leurs faces d'assemblage horizontales, et mettre en évidence leurs piqûres, afin qu'on puisse en faire la reconnaissance et tracer les détails de l'assemblage. Ces pièces sont, comme de coutume, sur des chantiers qu'on n'a point représentés dans la figure, pour ne point la compliquer sans nécessité.

La reconnaissance des piqûres consiste à tracer, avec la pointe du traçeret ou celle du compas et une règle ou la jauge, fig. 1, pl. I, les lignes de joint dont les piqûres ont déterminé les positions et d'après lesquelles les assemblages doivent être tracés.

Les lignes de joint $x y$, $z v$, de la pièce *A*, fig. 8, sont tracées par les piqûres 1-2, 5-6 des faces d'assemblage projetées en A^1 et A^2 . Les lignes de joint désignées par les mêmes lettres $x y$, $z v$, de la pièce *B*, passent par les piqûres 3-4, 7-8 de sa face d'assemblage, projeté en B^1 .

§ 14. *Tracé des assemblages.*

La reconnaissance des piqûres faite, on trace les assemblages. Sur la face de la pièce *B*, projetée en B^1 , fig. 8, pl. XXVII, on marque avec le compas, à droite et à gauche, et à égale distance de la ligne de milieu $b b'$, deux points e , o , sur la ligne du joint d'about $x y$ et deux points i , u , sur la ligne du joint de gorge $z v$. Les lignes parallèles $e i$, $o u$, tracées par ces points, marquent les joues de la mortaise dont la largeur $e o$ ou $i u$ est ordinairement le tiers de celle de la pièce de bois; le rectangle $e o u i$ est l'ouverture de la mortaise.

Sur la face de parement de la même pièce projetée en *B*, on trace, avec une équerre, la ligne $x w$, perpendiculaire à l'arête $x z$, et l'on porte de x en x' la profondeur de l'entaille d'embranchement $x x z$; la ligne $x' z$ marque l'inclinaison du pas de l'embranchement. On répète la même opération, mais en sens contraire, sur la seconde face de parement parallèle et opposée à celle projetée en *B*.

Pour tracer le tenon de la pièce *A*, avec la même ouverture de compas qui a servi pour la mortaise, on marque sa largeur sur les faces d'assemblage projeté en A^1 et A^2 . Sur la première, par quatre points, $r-s$, $m-n$, et sur la seconde, par quatre autres points, $p-q$, $t-v$, et à égales distances de la ligne de milieu, on trace les lignes $m r$, $n s$, $t p$, $v q$; elles déterminent l'épaisseur du tenon égale à la largeur de la mortaise.

Sur le bout de la pièce, projetée en A^3 , on rencontre ces lignes en traçant celles $m q$, $n p$.

On trace sur la face de parement, projeté en *A*, la ligne $x z$, qui serait une ligne de joint sur cette face, s'il ne devait pas y avoir d'embrèvement. Perpendiculairement à cette ligne, on trace la ligne $x w$, qui marque l'about de la pièce; la position de cette perpendiculaire se détermine au moyen d'une équerre et d'une règle appliquée contre la ligne $x z$ (1).

Par deux points, marqués d'une même ouverture de compas égale aux deux tiers de l'épaisseur de la pièce *B*, on trace la ligne $f g$, parallèle à $v z$; elle fixe la longueur du tenon. Sur la ligne $x w$ on porte $x' x$ égal à la profondeur de l'embrèvement, et la ligne $x' z$ est la pente de l'épaulement du tenon, égale à celle de l'entaille qu'on a tracée sur la pièce *B*.

On répète le même tracé, en sens inverse, sur l'autre face de parement. On trace sur le bout de la pièce projeté en A^3 , la ligne $w w$, qui est la rencontre des points $w w$ de ses deux faces de parement.

La longueur de la ligne $f g$ donne celle du fond de la mortaise; on porte cette longueur, avec le compas, de o en h et de e en k , sur la face d'assemblage *B'* de la pièce *B*; on trace la ligne $h k$; le rectangle $o h k e$ est la projection du fond plat de la mortaise, et le rectangle $h a i k$ est la projection de sa partie rampante.

Les charpentiers font, dans le rectangle $o h k e$, trois ou quatre cercles, signes de l'emplacement d'une mortaise, et qui marquent que c'est dans cette partie que la tarière doit être appliquée, pour commencer à la creuser. Par les points $n i$ ils tracent à la main les deux traits $u e$, $i e$, qui sont les signes que la ligne $z v$ est la gorge de l'assemblage, et sa partie $n i$ le commencement du rampant de la mortaise.

Le plus souvent tous les tenons d'une charpente sont de même épaisseur,

(1) Pour qu'il y ait contact parfait des abouts du tenon et de la mortaise, lorsqu'on a mis en joint, il est bon de tracer la ligne $x w$ sur les deux faces de parement des deux pièces, pendant qu'elles sont sur ligne. On leur applique des règles qu'on tient dans un plan vertical, au moyen d'un fil à plomb; nous les avons indiquées, fig. 6, par la projection ponctuée de l'une d'elles $x w$.

et toutes les mortaises de même largeur. Les charpentiers se servent alors de leur jauge, que nous avons décrite, chap. I et fig. 1, pl. I, pour tracer les lignes parallèles *oa, vi, mr, ns, tp, vq*, qui marquent la largeur de la mortaise et l'épaisseur du tenon. Ils font coïncider, pour cela, la ligne de milieu de la jauge avec la ligne de milieu de la pièce de bois, et ils tracent de chaque côté de la jauge. Cette méthode est plus expéditive, mais elle n'est pas aussi exacte; on ne jauge pas toujours bien la coïncidence de la jauge, le traceret use rapidement ses bords et les lignes tracées ne sont pas toujours droites et parallèles. D'un autre côté, les tenons et mortaises d'une charpente n'ont pas toujours les mêmes dimensions. Il nous paraît donc préférable de tracer chaque ligne par des points piqués avec soin, et nous conseillons, pour les travaux qui demandent de l'exactitude, l'usage d'une règle d'acier des mêmes dimensions qu'on donne aux jauges.

Le tracé des entailles pour l'assemblage de deux pièces qui se croisent, comme celle d'une croix de Saint-André, se réduit, sur chaque pièce, aux lignes de joint à leurs rencontres par deux traits sur les faces de parement, pour marquer les largeurs des entailles, et à tracer, sur les faces normales, les lignes parallèles à celles de milieu, qui en limitent la profondeur.

Le tracé étant exécuté avec soin et vérifié, on livre les bois aux compagnons pour tailler les assemblages.

§ 15. Coupes des assemblages.

Nous prenons pour exemple l'exécution d'une mortaise et de son tenon, parce que cet assemblage présente toutes les difficultés, et lorsqu'on saura l'exécuter, on saura exécuter tous les autres.

La pièce *B*, fig. 8, pl. XXVII, étant sur ses chantiers, sa face d'assemblage en dessus, comme elle est vue en *B'*, un compagnon monte dessus, si elle est très-épaisse, sinon il se place de manière qu'elle se trouve entre ses jambes; il perce avec la tarière, dont il tient l'axe de la mèche vertical, autant de trous que peut en contenir l'étendue du rectangle *h a k c*, jusqu'à la profondeur que doit avoir la mortaise. Il vérifie la profondeur de chaque trou avec une petite broche en bois, fig. 9, sur laquelle cette profondeur est marquée par une entaille, ou bien il fait sur la mèche de la tarière un trait de craie, pour marquer la longueur dont elle doit s'enfoncer dans le bois.

La grosseur de la tarière est à peu près égale à la largeur de la mortaise et ne doit jamais être plus forte; les trous doivent être très-près les

uns des autres ; les joues de la mortaise ne doivent jamais être atteintes par aucun d'eux. On amorce chaque trou avec la gouge en fer, fig. 25, pl. I. Lorsqu'ils sont tous parvenus à la profondeur que doit avoir la mortaise, on la dégorge avec le bédâne de la besaiguë, ou avec le bédâne ordinaire, qu'on fait agir en frappant sur le manche avec un maillet. La partie rampante, répondant au rectangle $h u i k$, est formée, en enlevant le bois dans le sens de son fil, avec le bédâne que l'on couche suffisamment sur son biseau. On dresse et recale ensuite toutes les parois intérieures avec le ciseau de la besaiguë. Pour donner à la mortaise une même largeur, depuis son ouverture jusqu'au fond, on se sert d'une jauge qui a exactement pour largeur celle de la mortaise et qu'on descend dedans verticalement. Ce n'est que peu à peu et en n'enlevant que des copeaux très-minces, qu'on augmente la largeur de la mortaise vers le fond, afin de faire ses joues bien parallèles et perpendiculaires à la face d'assemblage, et l'on se guide avec un équerre en fer de la forme de celle représentée fig. 2, pl. II, mais beaucoup plus petite, dont on applique une branche sur la face d'assemblage, tandis que l'autre pénètre dans la mortaise et s'appuie contre la joue qu'il s'agit de dresser (1).

On se sert aussi de l'équerre en T , fig. 9, pl. XXV, qu'on fait en bois ou en fer ; on applique ses deux extrémités m, n , sur la face de l'assemblage, perpendiculairement à la longueur de la mortaise, tandis que la petite branche $o p$ descend verticalement et peut s'appliquer successivement contre les deux joues.

On se sert plus commodément à l'équerre à coulisse en fer, fig. 10, formée de deux règles. L'une, $o p$, glisse dans la mortaise de l'autre $m n$. Une des parois de cette mortaise est dressée avec précision pour que l'outil donne des angles droits. Une vis à tête s transmet sa pression à la règle $o p$ pour la fixer par le moyen d'un coussinet q et d'une lige contenue dans l'intérieur de la règle $m n$. Cet outil sert en même temps à sonder la profondeur des mortaises et à dégauchir leurs parois.

Cette équerre peut être suppléée par le petit instrument de bois, fig. 9, pl. XXVII, nommé *quillboquet* par les menuisiers, qui s'en servent aussi pour sonder la profondeur des mortaises. La règle a , qui sert à sonder, glisse, à frottement serré dans l'entaille du petit billot b . Tous deux sont en bois

(1) On trouve dans Félibien, et dans des dictionnaires qui l'ont répété d'après lui, au mot *Tire-boucler*, outil dont les charpentiers se servent pour dégauchir le dedans des mortaises ; mais on n'en donne aucune description. Il est probable qu'il a quelque ressemblance avec l'un de ceux que nous indiquons.

durs; ils font entre eux un angle droit qu'on obtient en enlevant du bois sur les côtés du billot.

Quant à la pente de la gorge de la mortaise, on ne l'incline que peu à peu, et l'on vérifie son inclinaison par le moyen d'une règle m , et d'une fausse équerre q ouverte suivant l'angle $x : y$ du tracé du tenon, sur la face de parement de la pièce A ; on les présente contre la face d'assemblage de la pièce B , comme elles sont ponctuées fig. 7.

Lorsque la mortaise est terminée, on entaille l'embrèvement; pour cela on coupe son about par un trait de scie (1), très-près de la ligne $x y$ de la face d'assemblage jusqu'à la profondeur $x x'$ marquée sur les faces de parement, et l'on enlève le bois sur les deux joues avec la besaiguë ou l'herminette, jusqu'à la ligne z qui marque la pente du pas de l'embrèvement sur les faces de parement projetées en B , fig. 8. Quelques charpentiers préfèrent entailler et dresser d'abord l'embrèvement, avant de creuser la mortaise. Cette méthode est préférable, parce que le plan du rampau suivant $z x'$, qui forme le pas de l'embrèvement, est dressé plus facilement et avec plus de justesse. A la vérité, on ne peut tracer la mortaise qu'après que l'entaille d'embrèvement est faite, dressée et son about recalé; mais il en résulte aussi que les bords de la mortaise sont plus nettement coupés. La mortaise est représentée entièrement terminée, dans les projections B, B^1, B^2 , de la fig. 7.

Pour tailler le tenon, la pièce étant sur ses chantiers de niveau et posée sur une de ses faces de parement comme dans la projection A , deux compagnons abattent d'un trait de scie vertical et très-rapproché de celui tracé sur la pièce en $x w$, le prisme vertical dont la base est le triangle $x a w$.

Le plan qui résulte de ce trait de scie est dressé avec la besaiguë suivant les traits wx, xy, yw, ww , qui entourent le bois et qui paraissent sur les projections A, A^2, A^3 ; il est projeté en A^1 . On marque sur ce plan l'épaisseur du tenon par deux lignes $m q, n p$, qui rencontrent ce qui reste de celles qui ont eu le même objet sur la face d'assemblage projetée en A^2 et sur le bout projeté en A^3 ; on y trace aussi la ligne $x' y'$, qui marque l'embrèvement des épaulements du tenon, et enfin, la ligne ff' , qui limite la longueur du tenon, c'est-à-dire la quantité dont il doit pénétrer dans la mortaise. L'about du tenon et de son embrèvement est marqué par des hachures croisées sur le plan A^1 .

(1) L'about d'un encastrement d'embrèvement, fig. 4 et 5, pl. XV, se coupe avec le hédane.

La pièce étant toujours dans la position que nous avons indiquée en A , les deux compagnons coupent encore, d'un trait de scie vertical, le prisme dont la base est le quadrilatère $f w g' g$. Le rectangle $f g g' f$, qui résulte de ce trait de scie est représenté en A^3 , fig. 10, le bout de la pièce A étant projeté isolément sur le même plan. Après qu'on a dressé ce rectangle, on y trace les lignes $m q n p$, qui marquent l'épaisseur du tenon. Elles rencontrent celles, qui ont déjà marqué cette épaisseur sur les faces projetées en A^1 et sur le plan d'about A^2 . Le rectangle $m q p n$ sur lequel les hachures sont croisées est le bout du tenon.

Le bout de la pièce de bois étant dans l'état que nous venons d'indiquer, les deux compagnons donnent un trait de scie vertical sur la face de parement projetée en A , très-près du trait $x' z$; ils donnent ensuite deux fois quartier pour faire enfin un dernier trait de scie sur l'autre face de parement très-près du trait qui serait marqué $y' v$ si cette face était vue dans la figure. Ces deux traits de scie ne sont enfoncés que jusqu'aux lignes qui marquent sur les faces d'assemblage projetées en A^1 et sur le plan d'about A^2 , l'épaisseur du tenon. Le compagnon chargé de l'exécution du tenon donne alors quartier à la pièce A , pour la mettre en chantier sur la face qui porte la ligne de son joint d'about $x y$, la face qui porte la ligne du joint de gorge $v z$ étant en dessus, comme dans la projection A^1 ; puis il abat, avec la hache qui fend le bois, tout celui dont le fil vient d'être coupé de chaque côté du tenon, jusqu'à ce qu'il approche très-près des lignes qui en marquent l'épaisseur, suivant lesquelles le tenon est recalé sur ses deux joues, et amené à la dimension qu'il doit avoir pour remplir exactement la mortaise. On recale, également avec la besaiguë, les rampans des épaulements du tenon, qui forme l'embrèvement.

Le tenon terminé a la forme représentée par les projections A , A^1 , A^2 , de la fig. 7, dans laquelle les deux pièces de l'assemblage, fig. 1, sont achevées et désassemblées.

La coupe de l'assemblage terminée, on met en joint les deux pièces. On ne perce les trous des chevilles, comme celui indiqué sur la figure 1, que lorsque toutes les pièces du pan auquel elles appartiennent sont en joint et que tous les assemblages sont parfaits.

On doit éviter de mettre en joint et de désassembler les pièces plusieurs fois, parce que cela a l'inconvénient d'alaïser les assemblages qui doivent, au contraire, être le plus serrés possible.

Pour couper l'assemblage de deux pièces qui doivent se joindre par entailles, comme celles de la croix de Saint-André, on fait deux traits de

scie près des lignes qui marquent, sur les faces de parement, la largeur de chaque entaille, jusqu'aux lignes qui en limitent la profondeur sur les faces normales, et l'on enlève à la hache le bois compris entre ces deux traits de scie; l'entaille est ensuite recalée et mise à sa dimension précise avec la biseauté.

§ 16. Piqué des bois débillardés.

Lorsqu'un assemblage doit être formé de deux pièces débillardées, *A, A*, comme celui représenté en projection horizontale, fig. 8, pl. XXIV, et par deux projections verticales, fig. 9 et 10, le piqué des lignes de joint *x y, z v*, est plus compliqué, parce que les faces des pièces n'étant plus verticales, le fil à plomb ne peut plus leur être tangent dans toute l'étendue de chacune d'elles. On est alors obligé de suppléer les plans verticaux des faces par des règles, comme nous allons l'expliquer.

La fig. 13 est la projection horizontale des deux mêmes pièces *E, D*, désassemblées pour faire voir les détails de leur assemblage à tenon, mortaise et embrèvement.

La fig. 14 est leur projection verticale. Les mêmes lettres *x y, z v* désignent les lignes de joints des deux pièces.

La fig. 11 est la projection horizontale, et la fig. 12 la projection verticale des deux pièces *E, D*, avant que leurs joints soient taillés, établis de niveau et de dévers sur les lignes de l'ételon qui leur conviennent, mais que nous n'avons point marquées au dessin pour ne pas compliquer la figure. Il est entendu que les lignes *e e', d d'* des pièces *E, D* leur correspondent.

La pièce *D*, établie la première, est portée par des chantiers *O, O*, la pièce *E* porte d'un bout sur la pièce *D*, elle est exhaussée sur une cale *H*, qui n'est que ponctuée dans la projection horizontale. On est forcé de restreindre l'étendue de cette cale, à cause des opérations qui sont à faire sous la pièce *E*. L'autre bout de cette pièce est porté sur les chantiers *F, G, I*.

Ces pièces étant débillardées, elles sont nécessairement dressées avec exactitude, ce qui est aussi nécessaire pour les fonctions qu'elles ont ordinairement à remplir, que pour la justesse du tracé de leur assemblage.

On applique successivement en dessus et en dessous de la pièce *E*, sur ses faces horizontales, deux règles *m, n*; on fait coïncider le bord de la règle *m* avec l'arête supérieure de la face d'assemblage de la pièce *D*, et la règle *n* avec son arête inférieure par le moyen des fils à plomb *P M, Q N*. On trace

sur la surface supérieure de la pièce *E*, la ligne *v z*, et sur sa surface inférieure, la ligne *y v*. Ces lignes sont les projections des arêtes de la face d'assemblage de la pièce *D*. En joignant les points *x y* par un cordeau, et les points *x, v* par un autre, on pique le long de ces deux cordeaux deux points sur chaque face d'assemblage de la pièce *E*; on a les positions de ses lignes de joint *x y, z v*. On peut, au lieu de piquer les lignes *x y = v*, les tracer immédiatement à la règle, ce qui est préférable.

Pour obtenir les lignes de joint de la face d'assemblage de la pièce *D*, on applique sur la face supérieure de cette pièce une règle *q* (1), qu'on fait coïncider avec l'arête *t o* de la pièce *E*, au moyen d'un fil à plomb successivement présenté en *t* et en *o*. La ligne tracée le long de la règle *q* donne, sur l'arête supérieure de la pièce *D*, le point *x*, qui appartient à la ligne de joint de sa face d'assemblage. À l'égard du second point on tient au point *v* un fil à plomb *Q N*, qui touche en même temps l'arête supérieure de la pièce *E*, la règle *q* et l'arête inférieure de la pièce *D*; puis, avec un compas *K*, on prend, sur la règle *u*, la distance *v q* du fil à plomb à l'arête inférieure de la pièce *E*, pour la porter sur l'arête inférieure de la pièce *D*, à partir également du fil à plomb de *v* en *y*. En joignant le point *x* au point *y* par un cordeau le long duquel on pique deux points sur la face d'assemblage de la pièce *D*, on a la disposition *x y* d'une de ses lignes de joint. On peut immédiatement tracer cette ligne avec une règle ou la jauge.

On obtient l'autre ligne de joint *v z* de la face d'assemblage de la pièce *D* par une opération semblable. Au moyen de la règle *p*, qu'on place sur la pièce *D*, dans le plan vertical de l'arête *g f* de la pièce *E*, on trace sur la face supérieure de la pièce *D* la ligne *g s* qui est la projection de l'arête inférieure de la pièce *E*. Cette ligne donne sur l'arête de la pièce *D* le point d'emprunt *s*. On tient sur ce point et contre la règle *m* un fil à plomb *P M*, on prend avec le compas, le long de la règle *m* la distance *s z* qu'on porte sur l'arête de la pièce *D* de *s* en *z*; le compas est alors dans la position *R* ponctuée. En piquant deux points le long d'un cordeau, passant par les points *z* et *v* ou en traçant immédiatement la ligne *z v*, on a la seconde ligne de joint de la pièce *D*.

On peut vérifier l'exactitude de ces opérations par un moyen fort simple, lorsque les deux pièces ont leurs surfaces exactement dressées, comme nous l'avons supposé. On tend un cordeau *a c* de façon qu'il touche complètement et dans toute leur étendue les deux faces d'assemblage des deux

(1) Les règles *p* et *q* sont ponctuées.

pièce *E*, *D*, qui doivent se joindre; pendant qu'un compagnon tient le cordeau tendu, on pique deux points sur chaque face d'assemblage, on a les points 1-2, 3-4, et l'on trace les lignes qui passent par ces points. Si l'on a bien opéré, la ligne 1-2 est parallèle à la ligne de joint *z v* sur la face d'assemblage de la pièce *E*, et la ligne 3-4 est parallèle à la ligne de joint *z v* sur la face d'assemblage de la pièce *D*.

On fait la même chose pour l'autre côté de la pièce *E*, et l'on obtient, sur les deux autres faces d'assemblage, des lignes qui sont parallèles à leurs lignes de joint projetées horizontalement sur *xy*, et verticalement sur la même ligne *ac*. Cette seconde vérification n'est point indiquée dans la figure.

La reconnaissance des piqures, le tracé des tenons et mortaises, et la taille de l'assemblage s'exécutent de la même manière que pour les pièces carrées; sinon qu'il résulte du débillardement des pièces, que les lignes d'about et de gorge sont biaises. Il en serait de même du piqué, du tracé et de la coupe du joint de deux pièces débillardées, qui se croiseraient, comme celles de la croix de Saint-André, fig. 4, pl. XXII.

Dans les assemblages des bois débillardés, les trous des chevilles et des boulons sont percés perpendiculairement aux faces de parement, sans avoir égard au biais des joints.

§. 17. De la *polène*.

Nous avons déjà dit, dans notre Introduction, qu'*observer la polène*, c'est avoir égard, en piquant les bois, aux défauts que peut présenter un équarrissage imparfait, telles que les flaches, les chanfreins, les saillies, les dépressions et les courbures des surfaces d'assemblage. Pour observer la *polène*, on porte les piqures en dedans ou en dehors du fil à plomb de la quantité précisément égale à l'épaisseur du bois qu'il faut conserver ou retrancher pour que le joint soit aussi exact que si le bois était parfaitement équarri. On conçoit qu'on est obligé souvent de multiplier les piqures pour faire suivre aux lignes de joint les sinuosités que la correction de l'assemblage peut exiger.

La plupart du temps, les sinuosités n'étant pas assez sensibles pour être mesurées avec le compas, c'est à vue qu'on apprécie la *polène*, et c'est dans la justesse de cette appréciation, qui dépend du coup-d'œil et de l'adresse de la main, qu'est le mérite de celui qui observe bien la *polène*. Mais, lorsqu'il y a un excès ou un défaut de bois assez considérable pour

qu'on ne puisse l'apprécier à vue, on fait usage du compas. C'est le cas où l'on opère avec le plus de certitude, et c'est celui que nous avons représenté, pl. XXV, en projection verticale, fig. 6, et à en projection horizontale, fig. 7, comme le plus propre à faire bien sentir en quoi consiste l'opération dont il s'agit.

La pièce *A* doit être assemblée à tenons et à mortaises avec la pièce *B*, dont une arête est remplacée par un chanfrein *a b*; il s'agit de piquer les deux pièces de façon que la pièce *A* remplisse, par son assemblage, le vide qui existerait sans cette précaution entre elle et le chanfrein de la pièce *B*.

Le fil à plomb *P Q* étant placé dans la position que devraient avoir les deux lignes de joint, et ces deux lignes étant piquées comme nous l'avons dit, partout où elles peuvent l'être, même sur les bords du flache ou chanfrein de la pièce *B*, on prend avec le compas la distance du point *a* à la ligne du milieu de la pièce *B* répondant au point *o*. C'est *oa* que l'on porte sur la pièce *A* du point *o'* de la ligne de milieu, au point *d'*, où l'on fait une piqûre. On prend ensuite l'écartement *bd* du point *b* de la pièce *B* au fil à plomb et l'on porte cette quantité sur la pièce *A* de *d'* en *b'*.

La ligne *a' b'* sur la pièce *A* est la correction de la *polène*; et lorsqu'on trace et qu'on coupe le tenon, on conserve à la pièce *A* l'espèce de paumelle *a b*, fig. 8, qui remplit le chanfrein lorsque les pièces sont en joint.

Toute autre difformité d'une des pièces peut, de la même manière, se rapporter sur l'autre pour y être observée en tracant et en coupant dans un sens contraire, de façon que les deux pièces se joignent aussi exactement que si elles étaient parfaitement équarrées. Mais on doit, autant qu'on le peut, éviter d'avoir recours à la *polène*, et pour cela il faut équarrir régulièrement les bois et dresser les surfaces avec netteté. Il est aisé de voir que l'observation de la *polène* a le grave inconvénient de réduire l'étendue et de changer la position du plan par lequel la pièce *A* porte contre la pièce *B*; ce qui atténue la solidité des assemblages. Cette considération suffit pour faire sentir quel avantage il y a pour une grande charpente à équarrir soigneusement tous les bois.

§ 18. *Piqué des bois entés.*

Nous prenons pour exemple l'assemblage à trait de Jupiter de la fig. 15, pl. XIX; il serait plus compliqué, que la méthode que nous allons exposer ne changerait pas.

Les pièces *A*, *O* de même équarrissage, représentées en projections verticales, fig. 2 et 3, pl. XXIV, sont établies l'une sur l'autre et se croisent de la quantité jugée nécessaire pour l'exécution de l'assemblage; la pièce *A* est portée sur les chantiers *R*; la pièce *O*, dont nous n'avons figuré qu'une partie, porte à chacun de ses bouts sur des chantiers *S*; elle est, en outre, calée sur la pièce *A* par des petits coins *m*, *n*.

Les deux pièces sont établies de niveau, de dévers et verticalement sur la même ligne battue sur le sol afin d'être parfaitement alignées en *enlignées*.

Au moyen d'un fil à plomb *K*, on pique sur les deux faces verticales des deux pièces des points 5-6, 7-8, et l'on trace les deux lignes qui passent par les piqûres. Elles servent avec les deux lignes de milieu *e e*, *i i*, des deux pièces, à rapporter tous les points du trait de Jupiter, exactement dans les mêmes positions sur les deux pièces. Pour opérer avec exactitude, on pique encore, sur les faces des deux pièces, les points 1-2, 3-4, 9-10, 11-12, dans les verticales données par le fil à plomb présenté en *M* et en *I* et l'on trace les lignes que les piqûres déterminent, sur lesquelles on porte la distance dont on veut que les points *b* et *f* soient écartés des lignes de milieu sur l'une et sur l'autre pièces. Il en est de même des points *g*, *g*, qu'on pique à des distances égales des lignes de milieu, dans les verticales données par le fil à plomb présenté en *N* et en *H*. On détermine les points *c*, *a*, *d*, *u* de la même manière. La même opération se répète sur les faces verticales opposées, après quoi l'on déplace les pièces pour tracer les joints par les points piqués, comme nous les avons indiqués en lignes ponctuées *a b c u f g*, *a b d f g*, et les couper.

§ 19. Piqué et coupe des lignes courbes.

Les pièces courbes employées dans la charpenterie sont de trois espèces : 1^o celles qui n'ont qu'une courbure et dont une face au moins est plane; 2^o les pièces également à une seule courbure qui sont débillardées courbes sur toutes leurs faces et dont une arête au moins peut être comprise dans un plan; 3^o les pièces dont toutes les arêtes ont une double courbure.

Les pièces de la première et de la seconde espèce sont les seules qui puissent être combinées comme parties intégrantes dans un plan de charpente; encore faut-il que celles de leurs faces ou arêtes qui sont planes, puissent être établies parallèlement au plan des axes des autres pièces.

Les pièces débillardées sur une double courbure pour toutes leurs arêtes,

ne sont ordinairement placées que dans des pans courbes, aux rencontres ou intersections des surfaces courbes des combles et pour la construction des escaliers.

Lorsqu'un plan de charpente comporte l'emploi de quelques pièces de la première ou de la seconde espèce, il faut que ces pièces soient taillées sur toutes leurs faces et suivant les courbures qu'elles doivent avoir avant d'être établies sur l'ételon avec les autres pièces droites (1). Elles sont mises de niveau et de dévers, par les mêmes procédés que nous avons décrits aux §§ 9 et 10 du présent chapitre, au sujet des pièces droites. Elles sont établies sur lignes au moyen de *traits ramenevets* et de lignes droites projetées sur leurs faces et sur l'ételon dans des positions convenables pour remplacer les axes qu'elles auraient si elles étaient droites.

On pique les assemblages de ces pièces entre elles et avec d'autres pièces, comme si elles étaient droites, par la raison qu'un tenon doit toujours être formé par des surfaces planes, qu'il doit suivre le fil du bois à la gorge de l'assemblage et présenter son about perpendiculairement à la face de la pièce qui le reçoit.

Nous avons déjà indiqué, ch. III (4°), comment on équarrit une pièce de bois cintré de la première espèce *A*, fig. 7, 8, 9, pl. VII, soit qu'on la taille sur un arbre naturellement courbe, soit qu'on la tire d'un arbre droit préalablement équarri au moins sur deux faces parallèles, lorsqu'elle a deux faces planes et deux faces cylindriques.

Pour une pièce également à une seule courbure, mais débillardée sur ses quatre faces, c'est-à-dire dont aucune des faces n'est plane, on suppose d'abord qu'elle est inscrite dans une autre pièce courbe, telle que la même pièce *A*, que l'on a équarrie suivant le cintre nécessaire; puis on débillarde sur les quatre arêtes pour en tirer la pièce dont toutes les faces sont courbes et dont les arêtes seules sont planes. Si l'on veut tailler, par exemple, une pièce à simple courbure, dont le débillardement est donné par le quadrilatère 1-2-3-4, fig. 9, et dont le cintre est représenté par la courbure de la pièce *A*, fig. 8, on la suppose inscrite dans cette pièce *A*, dont les faces planes et les faces cylindriques contiennent

(1) Dans quelques cas, fort rares on présente sur l'ételon les pièces dont les faces courbes, ou leurs arêtes, ne peuvent pas se trouver dans les plans de parement des pans; mais c'est seulement lorsque leur établissement donne un moyen de piquer leurs assemblages avec quelques autres pièces, plus simple que celui qui résulte de la méthode dite *coupe sur trait*, dont nous parlerons.

chacune une de ses arêtes. La pièce *A* ayant donc été équarrie suivant le gabarit, fig. 8, et le rectangle *a a t z*, fig. 9, qui ont été déterminés pour satisfaire à la condition que cette pièce *A* contienne la pièce débillardée (1), après avoir tracé aux deux bouts le rectangle de débillardement 1-2-3-4, dans la position qui lui convient, on trace sur les faces planes de la pièce *A* les courbes 2-2' en dessus, 4-4' en dessous, avec des calibres (2), et les lignes 1-1', 3-3' avec des règles minces et flexibles qui s'appliquent sur la surface cintrée (3), et l'on débillarde en suivant ces quatre lignes; on obtient des surfaces coniques.

Quoique la méthode que nous venons de décrire soit exacte dans son principe, elle n'est pas la meilleure, parce que chaque arête devant résulter du concours de trois surfaces, savoir : la face de la pièce *A*, sur laquelle elle est premièrement tracée, et les deux faces qui doivent la former par leur rencontre, il est très-difficile de l'obtenir bien continue et sans *jarrets*. On ne doit donc employer cette méthode que lorsqu'on est gêné par les dimensions du bois et qu'on est forcé d'en être très-économé. On parvient à un résultat plus régulier en choisissant la pièce courbe, dont on doit tirer la pièce débillardée, un peu plus forte en équarrissage, comme serait la même pièce *A*, fig. 8, s'il s'agissait d'en tirer une pièce dont le débillardement serait marqué par le quadrilatère 5-6-7-8, fig. 9. Voici comment on procède. La pièce *A* étant supposée équarrie avec précision, on taille d'abord deux des faces opposées de la pièce à débillarder; celles répondant, par exemple, aux côtés 5-6, 7-8 du quadrilatère, au moyen des traces de leurs prolongements 1-1', 2-2' pour l'une, 3-3', 4-4' pour l'autre, marquées sur les faces courbes et planes de la pièce *A*. Sur ces deux faces courbes taillées et polies, on trace avec un calibre, ou par points, ou même avec le compas à verge, les arêtes 5-5', 6-6', 7-7', 8-8', de la pièce qu'il s'agit de débillarder (4), qui passent par les angles 5, 6, 7, 8 du quadrilatère de débillardement; elles guident pour tailler les deux autres faces répondant aux côtés 6-7,

(1) Quoique la fig. 9 soit une coupe suivant la ligne *M N* des fig. 7 et 8, on peut supposer que le rectangle *a a t z* représente le bout de la pièce *A*, vu qu'il lui est en tout égal.

(2) Si la pièce débillardée est cintrée en arc de cercle, on peut décrire toutes les courbes, avec un grand compas à verge, en établissant un centre fixe suffisamment élevé.

(3) On peut aussi tracer ces courbes par points et les battre au cordeau, comme nous l'avons indiqué page 135.

(4) Nous n'avons pointé sur la fig. 7 que les lignes 5-5', 6-6', pour ne point compliquer le dessin. On peut aisément se figurer les lignes 7-7' 8-8'.

5-8, de ce même quadrilatère. Si l'on a coupé et poli avec soin les deux premières faces débillardées et qu'on y ait tracé avec netteté et précision les arêtes de la pièce, ces arêtes seront plus régulières que celles qu'on aurait obtenues par l'autre méthode. A la vérité, cette seconde manière de procéder exige beaucoup de soin et d'adresse à cause de la précision qu'il faut apporter pour tailler les calibres et tracer les courbes; elle consomme un peu plus de bois, mais aussi ses résultats sont plus certains et plus satisfaisants.

A l'égard du débillardement des pièces à doubles courbures et du tracé de leurs assemblages, les procédés diffèrent essentiellement de ceux que nous venons de décrire; on les *coupe sur trait*, comme disent les charpentiers, parce que la pièce capable de contenir celles que l'on doit façonner, est établie à l'ételon sur un *trait*, qui est une projection complète de la forme qu'on veut lui donner, et dont on relève, par points, les lignes suivant lesquelles le bois doit être coupé. Nous expliquerons les procédés qui se rapportent à la *coupe sur trait* lorsque nous aurons décrit les pièces courbes, auxquelles ils s'appliquent, en traitant des constructions qui en nécessitent l'emploi. Nous en occuper ici serait anticiper sans utilité sur ce que nous avons à dire au sujet de ces constructions.

CHAPITRE X.

PANS DE BOIS.

Les maisons et autres édifices, construits en bois et élevés sur des plans dont les périmètres sont formés de lignes droites, sont composés : 1° de pans de charpente verticaux, spécialement appelés *pans de bois* (1), qui forment les façades et les autres parois extérieures de leur enceinte ;

2° D'autres *pans de bois* intérieurs, également verticaux, qui établissent les distributions des appartements, et sont désignés par le nom de *cloisons en pans de bois* ;

3° De *planchers*, ou pans de charpente horizontaux, qui forment les étages et qui portent les planches dont sont formées les aires unies sur lesquelles on marche ;

4° Des *combles* ou *couronnements* ayant pour objet de soutenir les couvertures qui abritent l'intérieur des bâtiments ;

5° Des escaliers qui servent à la communication des différents étages, depuis le rez-de-chaussée jusque dans les combles.

L'usage des pans de bois a dû précéder celui des murailles de maçonnerie ; aujourd'hui que les moyens de construction se sont multipliés et perfectionnés, les pans de bois n'ont plus pour objet, dans nos contrées, que de suppléer les murs, et le plus souvent on ne leur donne la préférence que par des motifs d'épargne de dépense, d'espace et de temps, ou en considération de leur légèreté. Des murs construits totalement en charpente ne seraient imperméables aux intempéries qu'en consommant une grande quantité d'arbres, ou en leur appliquant un travail de grande sujétion pour joindre les bois hermétiquement ; tandis qu'en combinant avec le bois strictement nécessaire à la solidité de la bâtisse une maçonnerie peu coûteuse, qu'on ne pourrait utiliser autrement, ou qui ne se soutiendrait pas sous la forme économique de murailles très-minces, on obtient des parois qui ont la propriété de coûter la plupart du temps

(1) Ainsi appelés pour les distinguer des murs ou *pans de maçonnerie*.

moins cher que des murs, d'avoir moins d'épaisseur, d'être plus rapidement élevées et de faire jouir immédiatement de leur solidité, sans attendre, comme pour les murs épais, la longue dessiccation du mortier.

Un pan de bois est donc un assemblage de pièces de bois dont le nombre et le mode de combinaisons et de joints sont proportionnés à la solidité que doit avoir la bâtisse, et dont les intervalles sont remplis de maçonnerie peu coûteuse, soit par sa nature, soit par le peu d'épaisseur qu'on lui donne.

§ 1. Pans de bois extérieurs.

Les combinaisons des maîtresses pièces des pans de bois varient peu. Le type général de la composition de ce genre de construction se présente dans la fig. 1 de la pl. XXVIII, et se retrouve dans celles des planches suivantes. Cette figure est l'élevation d'un pan principal ou façade d'une maison bâtie en bois; au-dessous est le plan.

Le plus ordinairement, pour garantir les appartements et les premiers bois de l'humidité du sol, on élève le niveau du *rez-de-chaussée* d'une maison de la hauteur de quelques marches *A*, et l'œuvre de charpente pose en retraite de quelques centimètres, sur un mur qui forme autour de la maison, et sous ses pans intérieurs, un socle *B* de 0^m,65 à 1 mètre de hauteur, en maçonnerie de moellons ou de pierres de taille faisant paraping. Ce socle n'est interrompu que pour les passages des portes.

Quelquefois toute la hauteur des appartements du *rez-de-chaussée* est formée en murs de maçonnerie, et la charpente ne commence qu'à partir du niveau des planchers du premier étage, où elle forme souvent une forte saillie au dehors.

Un pan de bois qui monte de fond en comble d'une maison est divisé en pans partiels, établis les uns au-dessus des autres, qui répondent chacun à un étage et sont néanmoins liés entre eux par des pièces communes.

Chaque pan de bois partiel est composé d'une sablière *S*, qui reçoit les assemblages à tenons et mortaises des poteaux *P*. Ces poteaux sont couronnés par une sablière supérieure ou chapeau *H* (1), qui a pour objet, comme les sablières basses, de recevoir les assemblages à tenons et mor-

(1) Quelques charpentiers nomment cette pièce *sommier*, parce qu'elle porte la charge du plancher.

taises (1) de ces mêmes poteaux, de maintenir leur écartement et leur situation verticale, et de porter en outre des poutrelles ou solives du plancher supérieur, dont on voit les bouts à chaque étage. Les sablières portent sur le plancher qui répond à l'étage dont elles font partie.

Des pièces *G* inclinées en sens contraire les unes à l'égard des autres, et assemblées également à tenons et mortaises dans les sablières et les chapeaux, empêchent par cette disposition le balancement des poteaux dans le plan du pan de bois. Lorsque l'angle que ces pièces font avec les sablières et chapeaux est plus grand que 60 degrés, elles sont nommées *quettes*; elles prennent le nom de *décharges* et d'*écharpes*, quand cet angle est moindre; elles doivent, comme toutes les autres pièces, être très-justes dans leurs abouts, pour diminuer autant que possible le *hiement* produit par le jeu des joints et la flexibilité des bois trop longs (2).

Entre les poteaux sont ménagés les *hais*, ou ouvertures pour les portes et les fenêtres.

Les poteaux, qui n'ont pas d'autres fonctions que le soutien de l'édifice, sont répartis dans les parties du pan de bois qui doivent être pleines, et sont appelés simplement *poteaux*, ou poteaux de *remplage*, c'est-à-dire de *remplissage*.

Les poteaux qui sont contigus aux *hais*, portes ou fenêtres, sont appelés *poteaux d'huissérie*, et tous les bois qui forment les contours de ces ouvertures sont qualifiés *bois d'huissérie*. Ils portent intérieurement des feuillures pour recevoir les battants des portes et les châssis à verres des fenêtres construits par les menuisiers, et quelquefois extérieurement d'autres feuillures pour les contrevents.

Les pièces d'huissérie *G*, fig. 1 et 3, qui limitent la hauteur des portes et des fenêtres, sont des *linteaux*; les chapeaux *H*, dans la fig. 1, forment les *linteaux* des fenêtres. Lorsque les portes ou les fenêtres doivent être cintrées par le haut, les linteaux *N*, fig. 2, sont cintrés en dessous. Si les fenêtres sont arrondies en plein cintre, par le haut seulement, comme celles du 2^e étage de la maison, fig. 1, ou qu'elles soient entièrement

(1) Assemblages, fig. 1, pl. XIV.

(2) Le *hiement* des charpentes est une sorte d'oscillation dans le plan des axes des pièces assemblées, qui se manifeste, au moindre ébranlement, par le bruit ou craquement résultant du frottement des surfaces en contact dans les joints. Il cesse complètement dans les pans de bois lorsque leur remplissage en maçonnerie est bien fait.

rondes ou en œil-de-bœuf, comme celle du troisième étage, les arrondissements sont formés par des *goussets I* cintrés dans l'intérieur des *luis*, et assemblés dans les autres *bois d'huissierie*. Dans les grandes fenêtres cintrées qu'on pratique quelquefois pour donner plus de jour dans l'intérieur de quelques appartements, comme nous en avons figuré au troisième étage de la façade fig. 2, les pièces *O*, qui sont les continuations des linteaux cintrés, sont appelées *cintrés*. Les petites pièces *Y* sont des *liens* qui concourent, avec les tenons et mortaises des assemblages, à maintenir les cintrés dans le plan du pan de bois, et à les empêcher de changer de courbure. Les pièces d'huissierie *V*, qui forment le bas des fenêtres, sont les *appuis* des fenêtres. Les petites pièces *U*, qui les soutiennent, comme celles placées au-dessus des linteaux *L*, fig. 3, sont désignées par le nom diminutif de *potelets*.

Les espaces qui doivent être remplis, compris entre les portes et les fenêtres, sont des *trumeaux*. Lorsqu'ils sont trop larges pour qu'une simple *guette G* suffise à leur remplissage, comme dans les fig. 1 et 3, on multiplie les *poteaux*, ou l'on incline les *guettes*, comme celles *F*, afin qu'elles fassent arcs-boutants avec plus de force; on les accompagne, pour faire le remplissage, de portions de poteaux *J* appelées *tournisses*, ou de secondes *guettes K* qui le croisent et forment alors la croix de Saint-André, fig. 1, pl. XXVIII, et fig. 4, pl. XXX. On fait aussi avec des *guettes* des croix de Saint-André doubles, ainsi que nous en avons figuré une *A* au rez-de-chaussée de la fig. 2, pl. XXVIII, pour un remplissage entre deux piliers *O*, en conservant une petite porte *B*.

Les pièces de bois qui se croisent pour former des croix de Saint-André dans les pans de bois, doivent être serrées et maintenues dans leurs entailles, soit par une broche en fer rivée des deux côtés, soit par une grosse cheville de bois sec et dur coincée par les deux bouts, ou, ce qui est mieux, par un boulon à tête avec vis et écrou noyés dans le bois.

Les *tournisses J* sont assemblées à tenons et mortaises dans les *sablères*, les *chapeaux*, les *guettes* et les *croix de Saint-André*. Autrefois, elles étaient assemblées à *oulices* dans les *guettes*, et cela se pratique encore dans quelques lieux. Nous avons donné, fig. 44, pl. IX, fig. 7, pl. X, ch. VIII (1^o), les détails des assemblages à *oulices* qui s'écartent des règles ordinaires par rapport aux formes des tenons. L'objet de ce mode d'assemblage était de faire porter les *tournisses* sur les abouts de leurs tenons et de pouvoir creuser les mortaises avec précision. On a reconnu depuis qu'il affaiblit trop les *guettes*, vu qu'il reste peu de bois après que la mortaise

est creusée, et que souvent même il n'en reste point, entre les abouts des tournisses qui se correspondent verticalement lorsque les guettes sont peu inclinées. On se contente donc souvent aujourd'hui de couper les bouts des tournisses en bec de flûte, et de les approcher à plat joint, sans tenons ni mortaises, contre les guettes, comme la pièce *A* contre la pièce *B*, fig. 3, pl. XIV. Mais il est indispensable, alors, de clouer chaque tournisse avec une forte broche de fer carrée et pointue, appelée *dent-de-loup*, ainsi que nous en avons représenté deux, *J, J*, clouées sur une guette *F*, fig. 9, pl. X. On doit avoir soin, en pareil cas, de percer d'avance le bout de chaque tournisse avec une petite tarière ou une grosse vrille, d'un trou suffisamment large pour que la *dent-de-loup* ne fasse pas fendre le bout quand on la chasse à coups de marteau.

On est tombé dans un inconvénient pire que celui qu'on voulait éviter : cette manière d'attacher des bois n'a point de solidité. On ne peut l'employer que lorsque les tournisses n'ont pour objet que le remplissage d'un panneau; elle est moins mauvaise lorsqu'on y ajoute des embrèvements, fig. 3, pl. XV, pour que les tournisses ne glissent point sur leurs joints, ce qui ne dispense point de les clouer avec des dents-de-loup. Mais il vaut toujours mieux, surtout lorsque les tournisses ont à supporter une partie de la charge en commun avec les poteaux entiers, faire leurs assemblages à tenons et mortaises ordinaires, avec de profonds embrèvements (1), et l'on doit, dans le même cas, faire correspondre verticalement celles qui s'assemblent en dessus et en dessous d'une même *guette*, pour que leurs efforts sur cette guette ne la fassent pas serpenter. C'est ce qui a été observé dans les façades, fig. 2 et 3 de la planche XXX, où l'on suppose que les tournisses ont à soutenir une partie de l'effort des planchers sur les chapeaux.

Il est entendu que les joints à tenons et mortaises des bois inclinés les uns par rapport aux autres, sont tous à embrèvement (2), quoique ces embrèvements ne soient point indiqués partout dans les planches à cause de la petitesse des échelles.

La forte pièce *C*, formant l'angle d'un bâtiment, qui est commune au pan de la façade que représente la fig. 1, pl. XXVIII, et au pan qui est en retour d'équerre et qui forme une autre façade qu'on ne voit pas dans le

(1) Assemblage, fig. 1, pl. XV.

(2) *Idem, idem.*

dessin, si ce n'est sur le plan, au-dessous de la figure, doit monter de fond en comble, pour lier entre eux les pans de bois partiels des étages. Cette pièce, très-importante pour la solidité de la bâtisse, est appelée *poteau cornier* (1).

Lorsque l'équarrissage d'un *poteau cornier* dépasse l'épaisseur des pans de bois auxquels il est commun, ce qui est convenable pour qu'il ait une grande force, on peut l'évider dans l'intérieur d'un bâtiment pour former l'encoignure de l'appartement, de la manière indiquée en *C* au plan de la façade fig. 3, pl. XXVIII.

Les pans de bois qui ont une grande étendue doivent être partagés en *travées* égales, ou au moins symétriques, par des poteaux qui montent de fond en comble, et qui unissent entre eux plusieurs étages, comme ceux *T*, fig. 2 et 3, qu'on nomme *poteaux de fond*; et vu que ces poteaux interrompent la continuité des sablières et des chapeaux, on lie ces pièces par des bandes de fer que nous avons marquées, fig. 2 et 3. Ces bandes s'étendent en dedans et en dehors, en passant sur les poteaux de fond; elles sont clouées et boulonnées, et quelquefois encastrées dans le bois, pour qu'elles affleurent les faces du parement.

Pour relier aussi les pans de bois qui forment le coin d'une bâtisse, et qui ont le *poteau cornier* pour pièce commune, on enveloppe ce poteau par des bandes de fer pliées en équerre, dont les branches s'étendent sur les sablières et chapeaux, où elles sont fixées, comme les autres bandes, par des clous et des boulons. Elles sont représentées aux élévations et aux plans des fig. 1, 2 et 3. On lie également les pans de bois des façades avec ceux qui forment les cloisons intérieures, par des bandes de fer qui embrassent les poteaux communs.

Tous les intervalles d'un pan de bois, même ceux qui sont au-dessus des chapeaux ou sablières hautes, entre les abouts des solives des planchers, sont remplis de petits moellons ou de briques, maçonnés en plâtre ou en bon mortier de chaux et sable, ou en bonne terre argileuse, suivant les usages, ou plutôt selon les ressources du pays. Lorsque les bois doivent rester apparents, comme on le pratiquait presque toujours autrefois, cette maçonnerie est crépie en dehors et en dedans du meilleur

(1) *Poteau cornier*, c'est-à-dire qui fait la *corne*, le *coin* ou l'*angle* du bâtiment; et non pas *poteau cornier*, comme quelques personnes le disent et l'écrivent à tort.

mortier qu'on puisse faire, jusqu'à l'effleurement des bois dont les faces et les arêtes ont été dressées avant de les assembler.

Dans les localités où le plâtre est à bon compte, on fait la maçonnerie de remplissage des pans de bois avec des plâtras de démolitions ou d'autres petits matériaux, et du bon plâtre. On couvre la maçonnerie de remplissage et les bois des deux côtés, par un lattis cloué sur ceux-ci, et l'on ravale en plâtre; l'enduit est uni, ou décoré de joints figurés, de refends, plinthes, moulures et corniches, et même de divers ornements en bas-relief moulés ou sculptés; de manière qu'on donne quelquefois aux bâtisses en pans de bois l'apparence des plus élégantes constructions en pierre.

On était autrefois dans l'usage de *rainer* (1) et *tamponner* (2) les faces des bois que la maçonnerie de remplissage devait joindre, afin qu'elle pût y être fixée plus solidement. Cette excellente méthode est presque abandonnée; aujourd'hui on se contente de *larder* (3) dans ces mêmes faces, des vieux clous ou des *rapointissages* (4), qui se trouvent pris dans le hourdis. Cette nouvelle méthode économise la peine et le travail du charpentier; mais elle ne vaut pas l'ancienne, par la raison que les clous et les *rapointissages* sont bientôt détruits par la rouille, et laissent la maçonnerie sans liaison, tandis que les bords des rainures ne manquent que lorsque les bois sont pourris (5).

Lorsqu'on laisse les bois apparents, il est convenable, pour leur conservation, de les peindre à l'huile, et de leur donner de temps à autre une nouvelle couche de peinture; dans plusieurs villes, et notamment en Allemagne, les couleurs qu'on applique sur les bois apparents des maisons sont vives et variées, et leur opposition avec les couleurs ternes et pâles, ou même blanches, dont on badigeonne les maçonneries de remplissage, fait un effet fort agréable.

(1) *Rainer* ou *rueller*, en termes d'ouvriers, c'est faire une rainure.

(2) *Tamponner*, c'est planter de grosses chevilles de bois dans la face et la rainure d'une pièce de charpente, pour faire liaison avec la maçonnerie.

(3) *Larder*, c'est piquer çà et là une multitude de clous dans une pièce de bois.

(4) Les *rapointissages* sont des clous sans tête, coupés par les cloutiers au bout des vergettes, à mesure qu'ils ont forgé de nouvelles pointes comme pour faire des clous.

(5) Le maçonage en plâtre est le meilleur pour le hourdage des pans de bois, parce que le gonflement que produit le plâtre bien gâché en se solidifiant, fait que la maçonnerie pénètre et se fixe mieux dans les rainures, qu'elle serre fortement les bois, et qu'elle en remplit plus solidement les compartiments.

La fig. 2, pl. XXVIII, est l'élévation d'un bâtiment construit en bois sur des piliers en pierre *Q*; les sablières du pau de bois qui fait la façade sont posées sur de grosses pièces *M, M*, formant, pour chaque travée, *linteau* d'un pilier à l'autre; chacune de ces pièces est nommée *poitrail*; elle est d'un seul morceau ou *armée*, comme le sont quelques poutres, dont nous donnerons la description, en parlant des planchers, dans le chapitre suivant.

Les poteaux principaux et les poteaux corniers posent sur des sablières; on voit en *N*, le bout d'une queue d'hironde de l'assemblage du poitrail *M*, avec celui qui est en retour sur l'autre face du bâtiment.

Attendu que les poitrails *M, M*, en outre de leur propre poids, qui est assez grand, vu l'écartement des piliers servant de points d'appui, ont à supporter la charge des pans de bois, et celle des planchers et des combles, on les soulage en établissant au premier étage, et même au second en même temps, les décharges *D*, qui soutiennent les poteaux principaux *P*, en s'y assemblant à tenons et mortaises avec embrèvements, et qui reportent la charge au-dessus des piliers en maçonnerie *Q*, par leurs assemblages avec les sablières. On n'a point marqué les embrèvements sur la figure 2 de la planche XXVIII à cause de la petitesse de l'échelle, mais ils sont indiqués pour les décharges *K* de la fig. 2, pl. XXIX.

On assujettit quelquefois l'assemblage des décharges, sur les sablières, par des bandes de fer qui les enveloppent; elles sont indiquées sur l'une des deux travées, en *Z*.

On peut unir les poitrails *M*, et les sablières *S* qu'ils supportent, avec les poteaux *P*, par des étriers à bandes ou à ancrés, que nous n'avons point supposés placés dans la figure, mais dont on trouvera les détails dans les planches relatives à l'emploi des ferments dans les charpentes.

Les petites pièces *U*, qui forment les remplissages entre les décharges *D*, les sablières et les pièces d'appui, conservent le nom de *potelets*, celles marquées *Z*, sous les appuis des fenêtres de droite au deuxième étage, entre les potelets, et qui remplissent les fonctions de guettes, sont des *liens*. Lorsqu'on les croise, comme ils sont sous les fenêtres du troisième étage, ils forment des croix de *Saint-André*; assemblages qui produisent toujours un bon effet, même dans les *trumeaux*. On s'en est servi pour remplir ceux des deuxième et troisième étages; les croix de Saint-André satisfont en même temps très-bien aux besoins de remplissage et aux conditions de la stabilité.

Les petites pièces horizontales *X*, qu'on assemble carrément à tenons et mortaises avec les poteaux, lorsqu'ils sont très-élevés, et trop rapprochés

pour établir entre eux des guettes, sont des *étré sillons*, s'ils sont fort courts, comme dans la fig. 3; dès qu'ils sont plus longs, comme dans la fig. 2, on les nomme *traverses* ou *entre-toises*. Leur objet est d'augmenter la force des poteaux, en divisant leur hauteur et en les réunissant.

Les poteaux d'huissierie, des fenêtres qui répondent aux décharges *D, D*, fig. 2, sont assemblés, dans ces décharges, à tenons, mortaises et embrèvements, et leurs charges sont soutenues, en dessous des mêmes décharges, par des *potelés* de même équarrissage, assemblés de même et dans leurs prolongements.

Le plancher du premier étage de la fig. 2 est supposé contenu dans l'épaisseur des sablières *S*. Les poitrails ont beaucoup plus d'épaisseur que le pan de bois, l'excédant est reporté en dedans du bâtiment, et il supporte les bouts des solives, comme les supportent les poutres intérieures d'un plancher.

Les figures 1 et 2 représentent des façades dans le genre de celles qu'on fait aujourd'hui. La figure 3 est la façade d'une maison en bois, telle qu'on les construisait jadis; on en voit encore dans un grand nombre de villes, et même dans les plus anciens quartiers de Paris.

Cette maison est construite au moyen des mêmes combinaisons de bois que nous avons décrites précédemment; et ces combinaisons, qui ne sont pas susceptibles d'une grande variété, ainsi que nous l'avons remarqué, ont servi de modèle à ce qu'on a pratiqué depuis.

Le pan de bois de la façade de cette maison, est terminé dans sa partie supérieure en *pignon* (1), suivant les pentes raides de la couverture. Le toit s'avance de 0^m,65 à 1^m sur la façade, pour la garantir de la pluie, et sa saillie est soutenue par des consoles en bois sculptées. Celle du milieu de chaque égout rejette, au moyen d'un tuyau en plomb, les eaux pluviales sur la voie publique.

La fig. 4, pl. XXIX, est l'élevation d'une façade en pan de bois, avec porte cochère. Pour soutenir la sablière *S*, dans sa partie répondant à la porte, on aurait pu la renforcer par un épais *poitrail*, comme l'un de ceux *M* de la fig. 2, pl. XXVIII. On a préféré, pour ne point diminuer autant la hauteur du milieu du passage et ajouter à la décoration de la façade,

(1) Le nom de *pignon*, donné aux façades pointues des anciennes maisons, vient de leur ressemblance avec les *pignons*, ou rochers pointus qui couronnent les montagnes; il a été depuis appliqué à toutes les façades terminées par un angle quelconque, même fort obtus.

suppléer ce poitrail par un linteau *Y*, assemblé dans les poteaux d'huissierie, et soutenu dans sa portée par deux liens cintrés *O, O*, qui s'y assemblent à tenons, mortaises et embrèvements; ces liens forment les retombées de l'arc et sont assemblés, à ses naissances, à tenons, mortaises et doubles embrèvements (1), dans les deux poteaux d'huissierie *P*, qui montent depuis le socle jusque sous le chapeau du pan du premier étage, ainsi que le poteau cornier *C*. Les liens *Z, Z*, maintiennent la courbure des cintres *O, O*. Si l'on peut se procurer des bois courbes, ces cintres sont équarris courbes en dedans et en dehors. Si l'on est forcé de les tailler dans des bois droits, et que d'ailleurs ils doivent être recouverts en plâtre, on peut ne les cintrer que d'un côté, comme sont les liens *Q* de l'œil de bœuf ouvert sur la gauche de la porte cochère. On a ajouté aux croisées de cette façade des linteaux *I* pour en diminuer la hauteur; ils sont joints aux chapeaux. Il est convenable dans ce cas, surtout lorsque les bois doivent demeurer apparents, de joindre le linteau avec le chapeau à rainures et languettes, vu qu'il n'y a pas moyen d'insinuer entre eux aucune maçonnerie de remplissage. Il est quelquefois préférable, par cette raison, d'écarter les linteaux des chapeaux, comme on l'a fait sur d'autres façades figurées dans nos planches.

La fig. 5, pl. XXIX, représente un plan de bois formant la façade d'une maison avec porte bâtarde; elle reproduit, comme la figure précédente, des assemblages que nous avons décrits, différemment disposés.

Les fig. 1 et 3 de la planche XXX, représentent des façades comme on en voit aux anciennes maisons, pour lesquelles l'apparence des bois forme la principale décoration. Toutes les pièces sont équarrées avec soin, surtout sur leurs faces et arêtes apparentes; les assemblages sont taillés avec justesse et netteté, et ils sont très-serrés pour qu'ils ne puissent jouer dans aucun sens, ni présenter aucun joint ouvert.

Les fig. 4 et 5 montrent d'autres combinaisons qui sont employées également sur les façades d'anciennes maisons pour le remplissage des trumeaux. On voit dans quelques compartiments de la figure 4, comment ils peuvent être décorés de moulures; ils sont quelquefois remplis par des panneaux en bois sculptés, posés par-dessus la maçonnerie.

Nous donnons, dans notre frontispice, quelques fragments de maisons

(1) Assemblages, fig. 3 et 7, pl. XVI.

en charpente du moyen âge, les plus remarquables par leurs ornements sculptés sur les bois, et les panneaux, également en bois et sculptés en bas-relief, qui remplissent les compartiments de leurs façades. La vétusté a donné aux bois de ces maisons la couleur rembrunie de l'ébène, qui produit le plus bel effet.

La fig. 2 de la même planche est l'élévation d'une maison à trois étages, dans laquelle les bois sont combinés de la manière la plus simple et qui convient le mieux, lorsqu'ils doivent être recouverts par les enduits des maçonneries de remplissage, ou lors même que, les laissant apparents, cette simplicité s'accorde avec la destination de la bâtisse.

Dans la composition d'un pan de bois, on doit avoir le plus grand soin de faire correspondre les poteaux principaux, ceux d'huissierie, ceux de remplissage, et même les tournisses des divers étages, verticalement, afin que du comble au socle tous les bois portent aplomb les uns sur les autres, et que leurs efforts ne fassent point serpenter les chapeaux et sablières, ce qui ne manquerait pas d'arriver et de nuire à la solidité de la bâtisse, si ces différentes pièces étaient, comme on dit, en *porte à faux*.

Par la même raison, les fenêtres et les portes doivent se correspondre verticalement, afin que les trumeaux ne portent point leur charge sur les linteaux des fenêtres et portes inférieures, qu'ils pourraient faire fléchir. Cette règle de solidité est d'accord avec celle de l'identité de distribution des étages, et avec la régularité et la symétrie des façades qui plaisent et qu'on désire dans toute bâtisse.

Lorsqu'on est forcé par la nécessité de donner beaucoup d'étendue à une ouverture, comme à celle de la porte cochère *A*, en lui conservant sa forme carrée, et de faire correspondre les trumeaux compris entre les poteaux d'huissierie *B-B*, *C-C*, *D-D*, sur le vide de cette ouverture, on soulage la sablière *S*, qui forme linteau et *poitrail*, du poids considérable de ces trumeaux et des planchers qu'ils supportent, par des décharges comme celles *D*, *D*, que nous avons indiquées fig. 2, pl. XXVIII, lorsque la composition du pan de bois se prête à cette disposition, ou comme celle *Q*, *Q*, pour le cas représenté par la fig. 2, pl. XXX, qui nous occupe. Ces décharges s'assemblent par le bas sur la sablière *S*, à tenons et mortaises, avec double ou triple embrèvement, et contre les poteaux d'huissierie *R* du même étage; par le haut, elles aboutent *bout-à-bout*, contre un renfort horizontal *T*, ajouté à la pièce d'appui *V*, commune aux deux croisées et au trumeau intermédiaire, qu'il s'agit de soutenir. Les pièces *Q*, *Q*, reportent la charge sur les poteaux d'huissierie ou d'étrière, *P*, *P*, de la porte cochère, arcs-bou-

tés par les guettes contiguës *G, G*. Le même système est répété dans les pans partiels supérieurs, afin que les trumeaux n'accunulent pas leur poids sur les premières décharges *Q, Q*, et que celles *E-E, F-F*, de chaque étage, n'aient chacune à supporter que le trumeau et la partie de plancher qui lui correspondent. Quelquefois on joint le renfort *T* à la pièce d'appui *V* par des *entures*, afin de l'empêcher de glisser, et pour qu'ils fassent corps avec cette pièce; il est, dans tous les cas, prudent de l'y fixer par deux boulons qui sont marqués sur la figure.

On donne aux pans de bois extérieurs un peu de fruit (1), d'un étage à l'autre, c'est-à-dire qu'on fait les pans partiels un peu moins épais, à mesure qu'ils sont situés à des étages plus élevés. Le fruit des pans de bois des façades ne se donne que sur le parement extérieur; les parements intérieurs des pans partiels de tous les étages se correspondent à plomb. Le fruit ne diminue l'épaisseur du bois que de quelques millim. par étage; il a pour objet de donner plus de stabilité à l'ensemble de l'édifice, en laissant à sa base une étendue un peu plus grande que celle de sa partie la plus élevée, et de reporter un peu vers l'intérieur les résultantes verticales de la charge que les pans de bois ont à supporter, afin de résister mieux à la poussée que la flexibilité des planchers et leurs vibrations occasionnent sur eux.

Nous donnons, planche XXXVII, d'après les figures de Kraft, deux pans de bois remarquables par la manière dont ils sont soutenus au-dessus du sol, afin de conserver un grand espace libre en dessous, et qui a quelques rapports avec les systèmes employés pour les ponts. Le professeur allemand Carsten donne le nom de *soupenne* à ce genre de construction.

Le premier de ces pans de bois, fig. 14 (2), a été exécuté à Paris, par le charpentier Sevinge, dans une brasserie du Marais. Un grand arc *A*, formé de quatre épaisseurs de fortes planches, soutient tout le pan qui est composé de trois étages, égaux en tout à celui que représente la figure. Cet arc est pris entre deux moises horizontales *M*. Deux aisseliers *E, E*,

(1) On dit le fruit d'un pan de bois par analogie avec le fruit d'un mur. C'est la diminution de l'épaisseur d'un mur, depuis sa fondation jusqu'à son sommet. Cette diminution s'opère par un faible talus du parement, ou par retraites faites aux différents étages. Le mot *fruit* a probablement pour étymologie *frustum* (de *fraudo*), tromperie, fraude, artifice, pour produire la stabilité.

(2) Kraft (*ancien*), 1^{re} partie, pl. XVI, fig. 8. Cet ouvrage se trouve à la bibliothèque du Conservatoire et à celle de Sainte-Geneviève à Paris.

s'assemblent dans l'arc et reportent une partie du poids de la bâtisse sur des dés en pierre *D, D*, posés au niveau du sol, sur des fondations en maçonnerie. Ces aisseliers joignent l'arc aux points où il supporte les grandes *moises* ou *écharpes F, F*, qui s'étendent dans toute la hauteur des pans de bois et vont s'assembler dans les poteaux principaux *P, P*. Les moises *M* embrassent aussi les potelets *Q*, et elles supportent les solives du premier plancher.

Le second pan de bois, fig. 15 (1), a été construit dans le même but, dans un hôtel au Marais, à Paris, par le charpentier Mazet; il est composé également de trois étages égaux, à partir des appuis des fenêtres. Il est porté par deux paires de moises horizontales *M N*; l'une forme poutrelle, l'autre sert d'appui aux fenêtres. Les moises embrassent les deux poteaux extrêmes *R, R*, qui montent de fond en comble, et les deux poteaux moyens *P, P*, qui ne s'élèvent qu'à partir de la moise *M*, et dans lesquels s'assemblent les sablières hautes et basses des étages supérieurs. Les deux paires de moises horizontales *M, N*, et les poteaux *R, P*, sont liés par trois croix de Saint-André *C*, entre lesquelles sont distribués quelques potelets. Deux décharges ou aisseliers cintrés *E, E*, reportent la charge des poteaux *P, P* et de la travée qu'ils comprennent sur des dés en pierre *D, D*, posés au niveau du sol sur des fondations en maçonnerie, et qui soutiennent les poteaux de fond *R, R*, accolés aux murs latéraux. Les moises *M*, portent les bouts des solives du premier plancher.

§ 2. Pans de bois intérieurs.

Les cloisons en bois équarris, employées dans l'intérieur d'un bâtiment, pour former les principales divisions de la distribution, sont aussi des pans de bois; leurs dimensions, quant à la hauteur, sont les mêmes que celles des pans de bois des façades, leur étendue est déterminée par l'espacement des autres pans de bois intérieurs, ou cloisons, qu'elles rencontrent ordinairement à angle droit, et leur épaisseur, qui résulte de l'équarrissage du bois qu'on y emploie, est un peu plus faible que celle des pans de bois qui forment les façades ou autres parois extérieures; d'une part, pour ménager l'espace dans les appartements, en second lieu,

(1) Kraft (*ancien*), 1^{re} partie, pl. XVI, fig. 8.

parce que n'ayant pas autant d'ouverture à y faire que dans les pans extérieurs, on peut y multiplier davantage les poteaux qui en font la principale force; on leur donne par ce moyen celle dont ils ont besoin pour soutenir les planchers, dont la charge est souvent double de celle qui est supportée par les façades. Les pans de bois extérieurs ne reçoivent que d'un seul côté les portées des solives des planchers contigus, tandis que les cloisons en pans de bois ont à supporter les solives des planchers qui les joignent des deux côtés. On donne néanmoins une plus grande épaisseur aux pans de bois extérieurs, parce qu'ils sont exposés à toutes les injures du temps et qu'ils forment la clôture des bâtisses.

Les cloisons principales en pans de bois doivent être, comme les pans de bois des façades, établis à plomb les unes sur les autres, et porter aussi par le bas sur des fondations ou soubassements en maçonnerie; elles doivent, lorsque cela se peut, être reliées d'un étage à l'autre par des poteaux qui montent de fond en comble, et celles qui se croisent doivent avoir des poteaux communs et être reliées entre elles par des bandes de fer. C'est de cette intime liaison des différents pans de charpente entre eux que résulte la solidité d'une bâtisse en bois.

On donne aux pans de bois intérieurs du *fruit* des deux côtés, en employant des bois un peu moins épais à mesure que les pans ont moins de charge à supporter à raison des étages où ils sont établis.

La fig. 1, pl. XXIX, est l'élévation d'une cloison en pan de bois pour un étage de maison. Les sablières *S* de cette cloison, portent sur les solives du plancher inférieur, qui posent elles-mêmes sur le chapeau ou sablière haute *C*, du pan de bois de l'étage qui est en dessous. Les poteaux *A* sont verticaux, leur écartement est égal à leur épaisseur; cette disposition est dite à *claire-voie*. On peut, quand la charge des planchers ne doit pas être considérable, les écarter davantage.

Les *poteaux de remplissage* s'assemblent à tenons et mortaises dans les *sablières* et dans les *chapeaux* qu'ils supportent, sur lesquels posent les solives des planchers supérieurs, comme dans les pans de bois extérieurs. Les poteaux d'*huisserie* *P* doivent être plus forts que ceux de *remplissage*, *A*, parce qu'étant plus écartés ils ont plus de charge à porter. On les assemble à tenon et mortaise dans les solives, pour lier haut et bas les cloisons avec les planchers, et fixer invariablement ces cloisons; les passages des portes forcent aussi à interrompre la continuité des sablières basses. Les *sablières hautes*, ou *chapeaux*, s'assemblent dans les poteaux d'*huisserie*, ce qui est sans inconvénient, vu qu'ils sont également

bien soutenus par les poteaux de remplissage *A*, *B*. Les pièces *L*, *M*, qui limitent la hauteur des portes, et sont assemblées dans les poteaux d'huissérie sont, comme précédemment, des linteaux. Le remplissage au-dessus se fait au moyen de potelets, comme au-dessus du linteau *L*, ou au moyen d'une traverse, comme au-dessus du linteau *M*. Les dessus des portes sont quelquefois laissés vides pour recevoir des châssis à verres, auquel cas on pratique autour une feuillure, à moins que toute l'huissérie ne doive recevoir un revêtement en menuiserie.

On réserve quelquefois dans les cloisons, des fenêtres carrées, rondes ou ovales, pour permettre à la lumière du jour de pénétrer dans des appartements qui n'en recevraient pas directement d'un autre côté. On donne aux huisseries de ces ouvertures les dispositions que nous avons indiquées pour les fenêtres et œils-de-bœuf des pans de bois extérieurs.

Les intervalles des solives des planchers qui s'étendent en avant du pan de bois, sont remplis par les solives du plancher du même étage, qui s'étendent en arrière; nous avons haché les solives du premier plancher, que nous supposons coupées par le plan vertical de projection; les bouts des solives de l'autre plancher, qui s'étendent en arrière du pan de bois, sont croisés de deux traits en *X*, comme cela est souvent d'usage, pour distinguer les pièces de bois coupées de celles qui sont vues par le bout, sans être coupées par les plans de coupe ou de projection.

On fait correspondre les poteaux verticalement avec les solives, pour qu'il n'y ait point de porte-à-faux et que les assemblages soient soutenus.

Lorsqu'on n'a point assez de bois de la longueur qui serait nécessaire pour faire les poteaux de remplissage d'une seule pièce, on établit des traverses *T*, sur le milieu de la hauteur de l'étage, assemblées dans les poteaux d'huissérie *P*, ou dans quelques poteaux principaux distribués sur la longueur du pan de bois, et le remplissage se fait par des *demi-poteaux* *B*. Il faut éviter que ces traverses soient trop longues, attendu que si elles pouvaient *fouetter*, les *demi-poteaux* fouetteraient aussi, et s'inclinaient en dehors des plans des parements de la cloison; les solives ne seraient plus soutenues que par des sablières *H*, trop faibles pour en porter tout le poids, et la solidité serait compromise.

Un pan de bois à claire-voie ne doit être employé que lorsqu'il n'y a pas lieu de craindre un balancement dans le sens de sa longueur, parce qu'il se trouve contre-bouté à ses deux extrémités par les combinaisons des pans de bois ou des murs contigus dirigés dans le même sens.

Lorsque la charge des planchers doit être très-considérable, par

l'effet de leur grande étendue ou du poids des objets dont ils seront chargés, les cloisons en pans de bois partagées en travées *X Y*, *Y Z*, doivent être fortifiées par des décharges *D, D*, qui rapportent les charges sur des points *O, O*, présentant la résistance dont on a besoin.

Ces décharges s'assemblent à tenons, mortaises et embrèvements dans les sablières et chapeaux; elles s'abontent mutuellement ou s'assemblent de la même manière dans des poteaux communs. On peut mettre un double rang de décharges *G, G*, dans la hauteur d'une même travée. Les deux décharges inférieures portent et s'assemblent sur la sablière, les deux supérieures sur la traverse *T*. Le remplissage se fait au moyen de tournisses *J, J*, comme dans les pans de bois de façades.

Si l'on peut donner aux pans de bois une plus grande épaisseur que celle des poteaux, et si, d'ailleurs, ils ont à supporter des planchers extrêmement chargés, au lieu de faire les décharges chacune d'une seule pièce comprise dans l'épaisseur du pan de bois et affleurant ses faces de parement, ce qui oblige à faire le remplissage avec des tournisses, on compose la cloison de poteaux entiers verticaux, assemblés à des tenons et mortaises dans les sablières hautes et basses, et l'on remplace les décharges par des moises (1), qui embrassent tous les poteaux, les sablières et les chapeaux, également posées en décharge et de même inclinaison sur les deux faces de parement du pan de bois. Ces moises se correspondraient, et elles se confondraient dans la projection verticale, où elles seraient représentées, fig. 1, pl. XXIX, par les pièces *D, D*. Elles seraient entaillées au quart du bois avec toutes les pièces qu'elles croiseraient, et elles seraient boulonnées. Cette disposition donne une grande solidité aux pans de bois, et elle les rend capables de résister aux plus grands efforts.

On emploie fréquemment dans la composition des cloisons en pans de bois, des guettes comme celles dont nous avons parlé; il nous a paru inutile de les figurer de nouveau, vu qu'elles le sont dans les pans de bois extérieurs que nous avons décrits.

Lorsque dans une cloison en pan de bois, deux portes se trouvent fort écartées, comme celles *A, A*, fig. 2, elles laissent entre elles un large trumeau. Pour que les charges des planchers et des trumeaux supérieurs ne s'accablent pas sur celui-ci, ni sur ceux inférieurs, on dispose, dans la partie supérieure du pan de bois, un bandeau *R*, qui s'étend en linteau

(1) Assemblage, fig. 12, pl. XXI.

sur les portes, et des décharges *K, K*, qui sont assemblées à embrèvements vers le bandeau, et qui aboutent sur le potelet *I* du milieu lié au poteau, correspondant par une bande de fer verticale sur chaque face de parement. On peut remplacer ces décharges par des moises, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Les intervalles des bois des cloisons ou pans de bois intérieurs se remplissent, comme ceux des pans de bois extérieurs, en maçonnerie. On choisit la maçonnerie la moins pesante; elle n'est pas d'ailleurs exposée aux injures du temps. Cette maçonnerie affleure tous les bois. Lorsqu'on doit faire passer un lattis et un ravalement sur ceux de remplissage, les pièces d'huissérie, les chapeaux et les sablières doivent rester apparents, pour appuyer et maintenir ces ravalements. On donne à ces pièces un équarrissage plus fort, afin qu'elles soient affleurées par le ravalement, et pour que leurs faces apparentes conservent une largeur—qui satisfasse la vue, après qu'on a fait sur leurs bords contigus au ravalement, une feuillure de 20 à 28 millimètres, suivant l'épaisseur du lattis et du ravalement et de 28 à 50 millimètres de largeur, pour recevoir les bouts des lattes attachés avec des clous.

§ 3. Cloisons légères.

Les cloisons en charpentes, qu'on dispose dans l'intérieur des bâtiments pour les distributions de détail, ou qui n'ont point été prévues, n'ont à supporter le poids d'aucun plancher; elles sont appelées *cloisons légères*; elles sont faites en bois qui ont environ la moitié de l'épaisseur de ceux employés dans les cloisons en pans de bois; elles sont construites de la même manière. On en fait aussi qui sont composées d'un bâti, formant de grands compartiments dont les remplissages se font de diverses manières.

La fig. 3 représente un bâti pour une cloison percée de deux portes, nous y avons indiqué divers modes de remplissage. Les poteaux d'huissérie *P, P*, s'assemblent dans les solives des planchers supérieurs et inférieurs, pour être fixés invariablement. Lorsque l'étendue d'un trumeau est trop grande, on la divise par des poteaux intermédiaires comme celui *R*; les sablières et les traverses hautes et moyennes *T*, ainsi que les linteaux *L*, s'assemblent dans ces poteaux.

Lorsqu'il est nécessaire d'empêcher le balancement des assemblages, on place des écharpes *F* dans les vides du bâti. Si ce remplissage doit être en

planches dressées et posées comme en *MM*, ces planches sont jointes entre elles à rainures et languettes, et clouées sur le bâti. Les traverses, les écharpes, sablières et chapeaux, n'ont que l'épaisseur nécessaire pour que les planches puissent affleurer les poteaux avec lesquels elles se joignent à feuillures.

Le remplissage se fait aussi quelquefois en planches brutes *Q*, dont les bouts portent dans les rainures creusées dans les sablières et les traverses, On fait par dessus ces planches, sur les deux faces de la cloison, un lattis *S*, qu'on hourdit et qu'on enduit en mortier à bourre ou en plâtre, à l'affleurement des bois du bâti. On fait aussi des remplissages en torchis *Z*, composés de bâtons enveloppés de foin tordu en corde et enduit de terre grasse ou de mortier. Ces bâtons sont maintenus par leurs bouts dans les rainures des poteaux. Le torchis est ensuite enduit en plâtre ou en mortier à bourre, suivant l'usage du pays. On fait encore des remplissages en briques ou en carreaux de plâtre posés de champ, maçonnés en plâtre et maintenus dans le bâti par les rainures pratiquées dans les montants et les traverses, et qui ont une largeur égale à l'épaisseur d'une brique qui s'y loge avec le plâtre; cette légère maçonnerie est ensuite enduite à l'affleurement des bois, auxquels on n'a donné qu'une épaisseur égale à celle d'une brique, plus celle des deux enduits qui la couvrent des deux côtés.

Malgré qu'une cloison, de l'espèce dont nous venons de parler, ait peu de poids, sa position la meilleure est celle qui croise toutes les solives du plancher sur lequel elle est établie, parce qu'alors chaque solive supporte une petite partie de son poids. Si l'on est obligé de placer une cloison légère dans le sens de la direction des solives, il faut l'établir autant que possible au-dessus de l'une d'elles, et si l'on peut prévoir la nécessité de cette cloison, on doit donner plus de forces en largeur à la solive qui doit la porter; et même, en outre des décharges ou écharpes qu'on doit combiner dans les panneaux de cette cloison, il est convenable de placer les barreaux de fer, qui joignent de mètre en mètre deux autres solives au moins, à celle qui se trouve sous la cloison, afin de leur faire supporter une partie de la charge.

On fait enfin des cloisons qui n'ont que l'épaisseur d'une planche, et ne sont composées que de planches jointes à rainures et languettes, maintenues haut et bas par de forts liteaux à rainures, dans lesquelles entrent les bouts des planches et qui sont clouées aux plafonds et aux planchers. On cloue encore des traverses en planches à moitié hauteur de ces cloisons pour les empêcher de fouetter. Les portes qu'on y ménage sont

encadrées par des chambranles et linteaux cloués par dessus. Ces cloisons sont principalement du ressort des menuisiers; on les établit partout où l'on en a besoin, sans avoir égard à la disposition des solives; elles sont peu solides.

§ 4. Observations sur les pans de bois.

Nous avons parlé des avantages des pans de bois, il nous reste à apprécier maintenant leurs défauts. On leur reproche : 1^o de n'avoir pas autant de stabilité que les murs en maçonnerie; 2^o de ne pas présenter autant de solidité; 3^o d'être moins durables; 4^o de ne pas garantir l'intérieur des maisons des intempéries des saisons aussi bien que les murs; 5^o d'être très-combustibles et de communiquer les incendies.

Rondelet compare la stabilité d'un pan de bois à celle d'un mur (1). Il calcule le poids d'un pan de bois de 8 pouces d'épaisseur, pour une maison de trois étages, hourdé comme ceux qu'on exécute à Paris; il le trouve de 50 livres par pied carré; il en conclut l'expression de la stabilité, $50 \times 3 = 200$. Il calcule également le poids d'un pied carré de mur en moellons ou en pierre de dureté moyenne, de 16 pouces d'épaisseur réduite, qui convient de même à une élévation de trois étages, il le trouve de 180 livres, et l'expression de sa stabilité de $180 \times 8 = 1440$. Ce qui fait voir que la stabilité du mur est environ 7 fois celle du pan de bois (2). Il trouve enfin qu'il faudrait qu'un pan de bois eût 21 pouces d'épaisseur pour que sa stabilité fût égale à celle du mur de 16 pouces. On ne doit cependant pas juger la stabilité des édifices en bois d'après les chiffres de Rondelet, par la raison que les murs et les pans de bois ne sont jamais abandonnés sur le sol à leur propre stabilité. Dans aucune circonstance on n'élèverait isolément un mur de 16 pouces d'épaisseur ni un pan de bois de 8 pouces, à une hauteur de 40 à 50 pieds équivalant à celle de trois étages, sans ajouter au mur des contre-forts pour le consolider, et au pan de bois des arcs-boutants qui pourraient lui donner une stabilité au moins égale à celle du mur avec ses contre-forts.

(1) *Traité de l'art de bâtir*, t. III, p. 50.

(2) Krafft rapporte un calcul du même genre; il compare la stabilité d'un pan de bois de 7 pouces d'épaisseur à celle d'un mur de 18. Il suppose le poids du pied carré du pan de bois de 44 livres, et le poids du pied carré du mur de 200 livres. Il trouve que le rapport de stabilité est d'environ de 1 à 11.

La stabilité d'une maison en maçonnerie et celle d'une maison en bois ne proviennent pas des stabilités partielles de leurs parois, considérées isolément, mais bien de la liaison des façades, des refends et même des planchers, qui se croisent dans l'intérieur, et font, les uns par rapport aux autres, l'office de contre-forts et d'arcs-boutants. Cette stabilité dépasse de beaucoup, dans l'un et l'autre genre de construction, les efforts qui tendraient à renverser les bâtimens; ainsi, sous ce rapport, la comparaison des stabilités partielles des murs et des pans de bois est sans objet, et elle ne peut être défavorable à ces derniers. Mais on peut conclure des dimensions comparées par Rondelet, que la force verticale d'un pan de bois est bien supérieure à celle d'une maçonnerie qui n'aurait que la même épaisseur, puisqu'il établit qu'il faut qu'un mur ait 16 pouces d'épaisseur pour convenir, comme un pan de bois de 8 pouces, à une bâtisse de trois étages.

Le reproche fait aux pans de bois, de n'avoir pas autant de solidité que des murs, ne peut donc s'entendre que de la résistance aux causes étrangères à leurs fonctions, et qui peuvent les détruire. Ce reproche est alors fondé sous quelques rapports, car le bois n'est point aussi dur que la pierre; les maçonneries de remplissage des pans de bois étant moins épaisses que celle d'une muraille, il est plus facile de les détruire et de les percer. C'est probablement pour cette raison que l'usage des pans de bois, sur les façades extérieures des maisons et surtout au rez-de-chaussée, était proscrit par d'anciennes ordonnances, dont on s'est souvent affranchi (1).

Dans les contrées sujettes aux tremblements de terre, les maisons en bois résistent aux plus violentes secousses, tandis que les bâtimens en maçonnerie sont incessamment renversés.

(1) Un arrêt du Parlement, du 17 mai 1571, prouve que, dès cette époque, il fallait une permission pour bâtir en pans de bois. Un édit du Roi, de 1607, les défend, notamment au rez-de-chaussée, et ceux en saillie au-dessus. On a néanmoins continué d'en construire, mais sur alignement et en consolidant les principaux assemblages par des bandes de fer. Une ordonnance, du 18 août 1667, rendue par les trésoriers de France, grands-voyers de Paris, défend d'élever les façades des maisons en pans de bois de plus de huit toises de hauteur, et de les terminer en pignons de forme ronde, ou en pointe; elle enjoint de couvrir les maisons en croupe de pavillon du côté de la rue, et, pour résister au feu, de revêtir les pans de bois de lattes clouées et de plâtre en dehors et en dedans. Un règlement du général des bâtimens, du 1^{er} juillet 1712, enjoint aussi de mettre de forts clous et des brochettes en fer, suffisamment enfoncés dans les bois, pour soutenir les entablemens, corniches, etc., en plâtre. Enfin, des réglemens, faits par les juges des bâtimens, le 28 avril 1719, et le 13 octobre 1724, portent que les poteaux des pans de bois seront ruellés et tamponnés, et que les lattes ne seront écartées que de 3 à 4 pouces.

A l'égard de la durée, il est très-vrai que le bois en a moins que la pierre ; il est très-souvent exposé à pourrir dans des circonstances qui durcissent les murailles ; et les charpentes qui couvraient certains édifices de l'antiquité, ne sont point comme leurs murs parvenus jusqu'à nous. On voit cependant des maisons en bois sur lesquelles plusieurs siècles ont passé, qui sont encore en fort bon état, tandis que maintes constructions en maçonnerie n'ont eu qu'une courte durée.

Quant aux intempéries, les pans de bois bien construits en garantissent très-bien les habitations, et peut-être même que le bois, moins conducteur que la pierre, est plus propre à préserver des froids rigoureux comme des ardentes chaleurs. Cependant, lorsque dans les pans dont la charpenterie est apparente, les maçonneries ont délaissé les bois, les vapeurs humides, l'air froid, comme la brûlante chaleur du dehors, pénètrent dans l'intérieur. C'est ordinairement l'effet de quelques mal-façons dont les autres genres de constructions ne sont pas exempts. On y remédie en mastiquant les fentes formées par le trait des hourdis des mauvaises maçonneries, et par celui des bois employés sans être secs. Mais ces inconvénients n'ont jamais lieu dans les pans de bois bien construits en bois secs, dont les remplissages sont faits en bonne maçonnerie, très-serrée et bien engagée dans la charpente, et surtout lorsque de bons ravalements couvrent les hourdis et tous les bois en dehors et en dedans de la bâtisse (1).

Un moyen très-efficace de garantir l'intérieur des habitations en charpente des rigueurs des saisons, c'est de construire des pans de bois doubles sur toutes les façades : une petite distance entre ces pans de bois suffit pour interrompre la conductibilité (2) ; les pans de bois intérieurs, moins épais que ceux qui forment les parois du dehors, leur sont liés par les solives des planchers, par des étrépillons, par les poteaux corniers, et par ceux montant de fond en comble qui leur sont communs.

La combustibilité est le plus grave défaut des pans de bois ; nous avons fait voir qu'on n'y connaît pas de remède. On cite un grand nombre d'édifices célèbres qui ont été la proie des flammes, et des villes ruinées par des incendies. Cependant les dangers du feu ne sauraient faire exclure complètement des bâtisses l'usage du bois, surtout dans les contrées où l'on

(1) Voyez la note de la page précédente.

(2) Les doubles châssis à vitres et les doubles portes interceptent la communication de la température du dehors au dedans, et sont employés aussi bien pour les maisons en maçonnerie que pour celles en bois.

ne peut le suppléer par aucune autre matière sans se jeter dans des dépenses considérables. Certaines dispositions de prévoyance, dans les détails de la construction, éloignent ou diminuent le nombre des causes d'incendie et des mesures de précaution dans l'habitation, et de surveillance publique les rendent moins fréquents. Dans les localités où l'on peut construire des murailles pour les séparations mitoyennes des habitations, on limite l'étendue des désastres causés par le feu à la seule maison dans laquelle il a pris. Les murailles sont d'ailleurs devenues nécessaires, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer dans notre Introduction, dès que les maisons ont été élevées de plusieurs étages, et qu'il a fallu y adosser les cheminées et conduire leurs souches au-dessus des combles.

On ne saurait, au surplus, préférer ou exclure les pans de bois par système. Les ressources des lieux où l'on bâtit et le but qu'on se propose, peuvent seuls décider le genre de construction qu'il convient d'employer, et le choix est subordonné le plus souvent à la dépense.

Sous le rapport de l'économie, les pans de bois sont préférables aux pans de murs en maçonnerie dans la plupart des localités. Dans d'autres, le prix du bois est trop élevé pour qu'on puisse en faire usage, sinon lorsqu'il s'agit de ménager l'espace sur lequel on bâtit pour rendre les appartements plus grands de façon que cette question ne peut être résolue pour chaque lieu que par le calcul au moyen duquel on peut comparer la valeur d'un pan de bois à celle d'un mur, remplissant, l'un et l'autre aussi bien, les conditions qu'on a dû s'imposer.

Rondelet établit qu'à Paris une toise carrée de mur en moellons, comme précédemment de 16 pouces d'épaisseur réduite, s'élevant de la hauteur de trois étages, ravalée des deux côtés, *sans usage*, tout vide déduit, revient à 40 francs, tandis qu'une toise de pan de bois de 8 pouces d'épaisseur s'élevant à la même hauteur, et confectionnée comme il est dit plus haut, revient à 50 francs, ce qui donne une économie considérable en faveur du mur (1). Ainsi l'on doit être porté à leur donner la préférence, à moins qu'on ait intérêt, comme cela arrive fréquemment, de ménager dans l'intérieur de la bâtisse, et à tous les étages, l'espace qui serait occupé par la moitié de l'épaisseur du mur.

Le calcul de Rondelet est exact dans l'hypothèse qu'il a choisie, et pour Paris; il ne donnerait pas le même résultat pour une autre hypothèse, ni pour un autre lieu. Ainsi, dans les villes où la maçonnerie est très-chère

(1) Art de bâtir, tom. III, p. 51.

parce qu'on y manque de pierre et de chaux, et où le bois est très-commun, les pans de bois pourront coûter beaucoup moins que les murs, qui ne seront employés que pour fondations, pour porter les cheminées et leurs souches, pour interrompre la communication du feu d'une maison à celles qui lui sont contiguës, et, dans les édifices considérables, pour limiter l'étendue du dégât qu'un incendie pourrait faire.

Lorsqu'un bâtiment en charpente doit, en outre de son objet principal, présenter l'aspect d'une construction en pierre avec ses dispositions architectoniques, les pans de bois, simples ou doubles, avec leurs guettes et décharges, suivent les contours de l'édifice, figurent les mouvements de ses façades et ses épais ses murailles. Sous les parois formées au moyen de revêtements en bois, ou de ravalements en mortier, en plâtre ou en stuc, des poteaux corniers marquent les arêtes des avant-corps et des pilastres saillants; d'autres servent de noyau pour les fûts arrondis des colonnes; enfin, des liernes et des lambourdes préparent les surlies des socles et des plinthes, et soutiennent les entablements et les corniches.

Nous donnerons quelques exemples de l'emploi des pans de bois, lorsque nous aurons décrit les autres parties des bâtisses en charpente.

§ 5. *Gros seur des pièces employées dans les pans de bois.*

On détermine les équarrissages des pièces qui doivent entrer dans la composition d'un pan de bois, par la connaissance que de nombreuses expériences ont donnée de la résistance des diverses espèces de bois dans le sens de la longueur de leurs fibres, et par le calcul de la charge que ce pan de bois doit supporter, suivant l'étage où il se trouve.

Nous exposerons la méthode qu'on suit pour les détails de ce calcul, lorsque nous traiterons de la force des bois. Nous nous bornons ici, malgré ce que cela laisse à désirer, à indiquer les grosseurs que les praticiens donnent le plus communément aux pièces qu'ils emploient dans des pans de bois de 10 à 12 pieds (3^m,25 à 4 mètres) de hauteur, sous planchers, et au rez-de-chaussée, pour des bâtisses de trois étages. Nous remarquerons seulement, 1^o que l'équarrissage des étages supérieurs est diminué sur l'épaisseur des pans de bois, par le fruit dont nous avons parlé; 2^o que la force d'un pan de bois peut être augmentée, aussi bien par le nombre des poteaux qui entrent dans sa composition, que par l'accroissement de leur équarrissage.

TABLEAU

DES ÉPAISSEURS DES PANS DE BOIS ET DES GROSSEURS DE LEURS PIÈCES, D'APRÈS LES PRATICIENS.

	POUCES.	MILLIMÈTRES.
PANS DE BOIS DES FAÇADES de 12 pieds (4 mètres) de hauteur. <i>Épaisseur</i>	8 à 9	217 à 244
Poteaux corniers et poteaux de fond. <i>Grosseur</i>	9 à 10	241 à 271
Poteaux d'étrière	8 à 9	217 à 244
Sablères hautes et basses	8 à 9	217 à 244
Poteaux d'huisserie	7 à 8	180 à 217
Poteaux de remplage ou de remplissage ..	6 à 8	162 à 217
Écartement des poteaux de remplage....	10 à 12	271 à 225
Guettes, décharges, crois de Saint-André..	6 à 8	162 à 217
Tournisses et potelets	5 à 8	135 à 217
PANS DE BOIS INTÉRIEURS ou cloisons		
{ de 12 pieds (4 mètres) de hauteur..... <i>Épaisseur</i> .	6	162
{ au-dessus de 12 pieds....	7	189
Poteaux ..		
{ portant plancher. <i>Grosseur</i>	5 à 6	135 à 162
{ ne portant pas plancher..	4 à 5	108 à 135
CLOISONS DE REFEND ou en porte à faux	3 à 5	81 à 135

CHAPITRE XI.

PLANCHERS.

Les planchers sont des pans de charpente (1) horizontaux qui partagent l'intérieur d'un bâtiment en étages, et sont soutenus par ses parois; ils ont pour objet de porter les aires qui forment le sol artificiel sur lequel on marche. Ces aires étaient originairement en planches, et, quoiqu'on en ait fait plus tard en maçonnerie, le nom de planchers s'est conservé.

Les planchers sont également employés dans les bâtiments en pans de bois et dans ceux en maçonnerie. Dans l'un et l'autre mode de construction ils contribuent à la solidité des bâtisses par leur liaison avec les parois (2).

Les pièces de bois qui entrent dans la composition de la charpente d'un plancher sont de deux espèces, les *solives* et les *poutres*.

Les *solives*, ainsi nommées parce qu'elles constituent le sol de l'étage où elles sont placées, portent immédiatement l'aire supérieure du plancher; leurs bouts sont soutenus dans les murs ou pans de bois, ou sur des *poutres*.

Les *poutres* (3) qui reçoivent les bouts des solives qui ne doivent point porter dans les parois de la bâtisse.

(1) Voyez p. 303.

(2) Dans les bâtiments en maçonnerie, on substitue quelquefois des voûtes aux planchers; elles occupent plus d'espace dans la hauteur des étages, elles sont souvent d'une forme incommode pour l'habitation; elles n'ont en leur faveur que l'incombustibilité, vu qu'elles coûtent fort cher et qu'elles exercent une poussée qui force à donner aux murs une épaisseur qui dépasse de beaucoup celle qui serait nécessaire pour soutenir des planchers, à moins qu'on détruise cette poussée par de nombreux tirants en fer, qui coûtent également fort cher.

(3) Jadis une jeune jument était appelée *poutre*, nom qui était devenu l'équivalent de *bête de charge* ou de *somme*, parce que les juments étaient employées de préférence aux chevaux pour porter le bât. Le même nom a été donné, par analogie, aux pièces de bois sur lesquelles portent les solives, parce qu'elles sont chargées de tout le poids des planchers. Par la même raison on les a appelées aussi *sommiers*.

§ 1. Aires des planchers.

La planche 31 représente la construction des aires des planchers qui sont le plus en usage. Lorsque les aires supérieures sur lesquelles on marche sont en bois, on les appelle *planchers de pied*. Lorsqu'elles sont en maçonnerie, on les nomme *parés* ou *carrelages*.

La figure 1 est le plan d'une portion d'un plancher composé de solives, sur lequel on a indiqué différentes manières de disposer les *ais* en planches qui forment un *plancher de pied*. La fig. 2 est une coupe longitudinale suivant la ligne *AB* du plan fig. 1. La fig. 3 est une coupe transversale suivant la ligne *CD* du même plan. La fig. 4 est une coupe transversale suivant la ligne brisée *EFFG*.

a Solives sur lesquelles sont cloués les *ais* ou planches qui forment l'aire.

b Planches ayant toute leur largeur, comme le commerce les fournit, sauf ce que le rabot a enlevé pour dresser leurs rives et les rainer pour les joindre; on leur donne communément l'épaisseur, 27 à 34 millimètres. On peut leur en donner une plus forte, selon l'écartement des solives résultant de leur équarrissage et du poids des objets dont les planches doivent être chargés.

Les planches sont attachées sur chaque solive par deux ou trois clous, selon leur largeur, pour les maintenir et les empêcher de se voiler. Lorsqu'elles sont toutes clouées, on passe le rabot sur leurs joints pour les unir et abattre les lèvres qui peuvent résulter des petites inégalités de leurs épaisseurs.

c Plancher de *frises* ou d'*alaises* étroites provenant de planches sciées sur leur largeur, clouées, comme les précédentes, sur chaque solive; deux clous suffisent, vu le peu de largeur des frises.

Les planches, comme les *frises* ou *alaises*, sont ordinairement blanchies sur leurs deux faces, pour les tirer d'épaisseur uniforme et pour qu'elles portent mieux sur les solives, dont les faces supérieures sont également dressées et blanchies au rabot, et posées exactement dans le même plan et de niveau. On a soin de distribuer les joints des bouts de façon que ceux de deux cours de planches ou de frises contigus ne se rencontrent pas. On les répartit ordinairement de deux en deux planches, sur une même ligne droite; souvent on fait correspondre cette ligne des joints

bout à bout au milieu de la longueur des planches entre lesquelles ils sont distribués, comme on le voit sur la solive *a'*.

Lorsqu'on peut se procurer, soit du commerce, soit en les débitant exprès dans de grosses pièces, des planches assez longues pour s'étendre sur toute la longueur du plancher, on évite les joints bout à bout, et le travail est meilleur.

Les planches, aussi bien que les frises, s'assemblent longitudinalement par leurs rives à rainures et languettes, afin qu'elles se maintiennent mutuellement et que la poussière ne tamise pas par les joints dans les étages inférieurs. Chaque planche porte une rainure sur une de ses rives, et une languette sur l'autre, de façon que, lorsque le plancher est fini, toutes les rainures sont tournées d'un même côté et toutes les languettes sont tournées du côté opposé; autant qu'on peut, on donne à toutes les planches la même largeur.

Les joints des planches bout à bout sont aussi à rainures et languettes, pour que les abouts se maintiennent mutuellement; mais on juge souvent cette précaution superflue, parce que les bouts des planches peuvent être maintenus par plusieurs clous, et que ces joints se trouvant toujours sur le milieu d'une solive, il ne peut y avoir tamisage de la poussière.

Les planchers formés d'une seule épaisseur de planches sont dit *planchers simples*. Pour les rendre plus solides et plus sourds, on établit par-dessus un second *plancher*, représenté sur la partie de droite de la fig. 1.

f Lambourdes formées de planches sciées en deux sur leur largeur, et clouées sur le premier plancher, au-dessus des solives et parallèlement. On se sert de clous assez longs pour traverser le premier plancher et pénétrer dans les solives, au moins du tiers de leur longueur.

g Planches du second plancher, clouées sur les lambourdes. On peut également employer pour le second plancher des planches de largeur entière ou des planches sciées en frises. Pour assourdir complètement les doubles planchers, on remplit, dans les intervalles des lambourdes, les vides que laissent entre elles les planches des deux planchers, avec du mortier de chaux et de sable, ou du mortier de terre grasse mêlée de bourre, ou avec de la mousse sèche *d*.

Lorsqu'on emploie du mortier, on l'étend bien uni en le faisant affleurer le dessus des lambourdes; on le lisse à plusieurs reprises pour qu'il ne se gerce pas, et l'on attend, pour clouer les planches par-dessus, qu'il soit presque sec; il ne faut pas qu'il le soit complètement, pour que la percussion du marteau ne le fasse pas fendre. Lorsqu'on remplit les vides avec de

la mousse, ce qui est préférable, parce que l'humidité du mortier fait quelquefois voiler les planches, on ne la place qu'à mesure qu'on cloue les planches du plancher supérieur, afin de pouvoir la bourrer fortement au moyen d'un bout de latte qu'on introduit entre les deux planchers, et qu'on frappe avec un maillet.

On peut joindre les planches du second plancher à plat joint, parce que le passage de la poussière n'est plus à craindre, vu que les joints du premier plancher sont à rainures et languettes, et que ceux du second ne leur correspondent pas.

h Double plancher à *bûtons rompus* ou en *points d'Hongrie*, formé de planches sciées en deux sur leur largeur, coupées carrément par leurs bouts, et clouées diagonalement dans deux sens sur les lambourdes *f*.

i Planches sciées de même, à demi-largeur, coupées en onglets par leurs bouts, formant un plancher simple, dit à *fougères*, qu'on emploie aussi en double plancher. Les intervalles, entre les planches du premier plancher et celles d'un plancher en *points d'Hongrie* ou en *fougères*, doivent, comme ceux des planchers ordinaires, être remplis en mortier ou en mousse.

On peut faire les planchers en *points d'Hongrie* et ceux en *fougères*, avec des planchettes plus étroites que la moitié de la largeur des planches marchandes; le plus ordinairement on donne aux planchettes ou ais employés dans ces sortes de planchers, une largeur égale au moins au douzième de leur longueur, et au plus au sixième. On peut joindre ces planchettes à plats joints, mais l'assemblage à rainures et languettes est meilleur.

Dans les contrées où l'on est dans l'usage de laver ou d'arroser les planchers, il est préférable d'assembler les planches ordinaires à plats joints parce que, lorsqu'on assemble à rainures et languettes, les *joues* des rainures n'ont pas toujours assez de solidité; lorsque les planchers vieillissent, celles de la surface pourrissent, et elles se détachent en longs éclats; la réparation en est difficile, et les tringles en bois qu'on leur substitue, en les clouant avec des pointes, n'ont point de solidité.

Pour clouer les planchers ordinaires sur les solives, on emploie les clous dits *clous de planchers*, dont les lames sont forgées à quatre arêtes; leurs têtes sont larges, à peu près rondes; elles forment en dessus une pointe de diamants fort aplatie. Pour les planchers qu'on veut exécuter plus proprement, on se sert de clous dits *pointes de Paris*, dont la tige est cylindrique, deux fois et demie à trois fois aussi longue que l'épaisseur des planches à clouer, et très-lisse, étant faite avec du fil tiré à la filière, ce qui fait que ces pointes ne tiennent pas toujours aussi bien dans le bois que les

clous forgés. Les têtes de ces *pointes* ne sont pas aussi grosses que celles des clous ordinaires; on les fait entrer dans le bois, on les chasse même plus profondément que le parement du plancher, avec un *pointçon* ou *chasse-pointe* en acier, sur lequel on frappe avec un marteau; on remplit les trous qu'elles laissent avec du mastic. Les clous désignés sous le nom de *clous à parquet* sont préférables. La tête d'un clou à parquet est oblongue, sa largeur est égale à l'épaisseur de la lame du clou; dans l'autre sens elle a autant d'étendue que la tête ronde du clou de plancher. On a soin de chasser le *clou à parquet* de façon que sa tête croise le fil du bois; d'un coup de marteau on la noie dans l'épaisseur de la planche, ce qu'on ne peut faire avec les larges têtes rondes des clous de plancher ordinaires.

On peut, à l'endroit où chaque clou doit être planté, faire avec un ciseau une petite mortaise carrée, de quelques millimètres de profondeur, pour y loger sa tête. On bouche ensuite chaque mortaise avec une petite pièce de bois, bien ajustée et collée, qu'on y fait entrer de force.

On peut aussi attacher les planches avec des vis à bois, à têtes fraisées, qui affleurent le plancher; mais cette méthode ne permet pas d'aplanir la totalité de la surface des planches avec le rabot. Il est préférable de se servir de vis dont les têtes sont plates; on les loge dans l'épaisseur des planches, dans des trous cylindriques forés de quelques millimètres de profondeur avec une mèche anglaise, fig. 36, pl. I, qui fait le fond du trou plan et parallèle au parement, pour recevoir la base de la tête de vis. Ces trous ont 8 à 10 millimètres de diamètre; les trous qui servent de passage aux tiges des vis, ainsi que ceux qui préparent leur entrée dans les solives, sont percés avec de petites mèches ou des vrilles. Lorsque les planches sont posées, et les vis serrées à fond, on remplit les trous dans lesquels leurs têtes sont logées avec des bouchons pris dans des cylindres tournés à bois de travers. On place ces bouchons de façon que le fil de leur bois soit dans la même direction que celui des planches, pour que le retrait, s'il y en a, soit le même. On les colle et on les chasse à coups de marteau, puis on les coupe au ras des planches: le rabot les aplanit en même temps qu'on polit la surface du plancher. Cette méthode est principalement en usage pour les planchers en bois de chêne.

Les fig. 5, 6, 8 de la pl. XXI représentent diverses manières de joindre les planches longitudinalement, et nous avons indiqué, par une coupe, fig. 10, même planche, une manière de disposer les rainures et les languettes pour cacher les clous ou les vis qui attachent les planches aux

solives, de façon que chaque planche que l'on pose cache les clous ou les vis qui attachent la planche posée avant elle. Cette méthode est très-bonne, elle fait de très-bel ouvrage et très-solide, surtout pour les planchers en frises étroites : on peut l'employer aussi pour ceux en *point de Hongrie* et en *fougères*, comme nous l'avons supposé pour une partie des figures de ces deux sortes de planchers de pied, pl. XXXI.

On partage souvent le plancher de pied d'un appartement en différentes parties encadrées par des frises; on remplit les compartiments que l'on forme ainsi par différentes combinaisons, dans lesquelles les alaises peuvent prendre diverses positions; on les remplit aussi par des assemblages en *point de Hongrie* ou en *fougères*.

On compose quelquefois les aires des planchers en bois de différentes espèces, dont on combine la direction des fibres et les couleurs de diverses manières. On peut aussi, en n'employant qu'une seule espèce de bois, disposer les ais ou planchettes de façon que, même dans les combinaisons les plus simples, les fibres du bois se trouvent dirigées dans des sens différents, qui produisent une variété d'aspects propre à décorer les planches.

Nous ne décrirons point les *planchers de pied en parquet*, qui sont composés de la réunion de grandes feuilles d'assemblage en bois durs, plus ou moins variées et compliquées, qu'on attache sur des lambourdes entre les frises des principaux compartiments d'un plancher; ce genre de travail étant spécialement du ressort de la menuiserie.

Les planchers de pied, en s'étendant au-dessus de la charpente des planchers, pour en former les aires, ne couvrent que les faces supérieures des solives. Quelquefois on laisse leurs trois autres faces apparentes; mais, le plus souvent, on fait en dessous de la charpente du plancher une aire que l'on nomme plafond, et qui forme la paroi supérieure des appartements d'habitation.

En c, fig. 2 et 3, sont les coupes d'un plafond composé de planches minces assemblées longitudinalement à rainures et languettes, et clouées avec des pointes sur la face inférieure des solives. Ces plafonds sont nommés *tillis*, parce qu'on les faisait ordinairement en *peuplier*, et de préférence en *tilleul*, pour qu'ils fussent plus légers, avant que l'usage du sapin fût répandu comme il l'est aujourd'hui. Quelquefois, sur un des bords de chaque feuilles du *tillis*, et sur l'arête qui doit être en parement, on fait une moulure en forme de *talon* ou de *baguette*, pour décorer le joint et cacher ses irrégularités. On peut faire les *tillis* en feuilles étroites, comme

les planches des planchers en frises. Ils sont plus solides. Ordinairement les plafonds en *tillis* sont peints à l'huile, comme les autres boiseries des appartements.

Dans quelques pays, on préfère ne point étendre le *tillis* sous toutes les solives, et l'on se contente de remplir leurs intervalles par des planches, qu'on leur assemble à rainures et languettes, comme la figure 12 les représente, par une coupe verticale, perpendiculaire à la longueur des solives, *a*.

b est le plancher de pied ou aire supérieure; *c* sont les petites planches qui forment le plafond : lorsque ces planchettes ont leur fil perpendiculaire à celui des solives, l'ouvrage est plus solide. On peut leur faire affleurer les faces inférieures des solives, comme dans la fig. 12, pour faire un plafond uni, ou les assembler en retraite. Dans le premier cas, les languettes se trouvent contiguës aux faces supérieures des planchettes; il en résulte que les joints inférieurs peuvent s'ouvrir par l'effet du dessèchement des bois des solives. Dans le second cas, les languettes sont contiguës au parement inférieur des planchettes, et il ne peut y avoir au plafond apparence de l'ouverture des joints.

On décorait autrefois les plafonds des appartements par des compartiments formés en partie par les solives; on les enrichissait de sculptures et de peintures. Ces sortes de plafonds sont encore en usage dans quelques localités où l'on manque de plâtre et de moyens d'y suppléer. Nous avons représenté, fig. 9, pl. XXXI, un plancher de cette sorte, vu par son dessous, c'est-à-dire par le plafond. La fig. 10 est une coupe de ce plancher, par un plan vertical, sur la ligne *AB*, de la fig. 9. La fig. 11 est une autre coupe, par un plan vertical perpendiculaire au premier, sur la ligne *CD*.

a et *b*, solives du plancher; *c*, planches du plancher supérieur, clouées sur les solives et assemblées à rainures et languettes : ce plancher pourrait être double; *d*, étrésillons assemblés, à tenons et mortaises, dans les solives pour former les compartiments du plafond. Les planches *e* du fond des caissons sont assemblées à languettes, dans les rainures ouvertes sur les faces verticales des solives et des étrésillons formant les encadrements. En *x*, en *y* et en *z*, les solives sont entaillées en dessous pour recevoir les planches de fond des caissons qui s'étendent sous ces solives. Dans la fig. 10, les planches *e* sont coupées suivant le fil de leur bois, qui se trouve perpendiculaire à celui des solives; on voit les assemblages à rainures et languettes de leurs bouts avec ces solives. Dans la fig. 11, ces mêmes planches sont coupées perpendiculairement à leur fil,

qui est parallèle aux étréssillons, et l'on voit les profils de leur assemblage à rainures et languettes entre elles et avec les mêmes étréssillons. On suppose, dans la fig. 9, que tous les caissons ont été décorés de peintures, et que néanmoins les joints sont légèrement apparents par l'effet de la vétusté et du retrait des planches sur leur largeur. Aujourd'hui, pour éviter toute apparence des joints des planches, on exécute les peintures sur des toiles tendues sur des châssis en bois que l'on rapporte dans le fond des caissons et encadrements préparés pour les recevoir.

L'intérieur des grands édifices est souvent décoré de plafonds artificiels en bois, indépendants des planchers, et nommés *soffites*. Nous en donnerons quelques exemples à la fin du présent chapitre.

A Paris, et dans les contrées où le plâtre est abondant, les aires des planchers sont faites en maçonnerie. Les fig. 5 et 6 de la pl. XXXI représentent ce mode de construction. La fig. 6 est une coupe faite suivant la ligne *A B*, de la fig. 5, par un plan vertical perpendiculaire à la direction des solives, dans un plancher dont l'aire supérieure est pavée et qui est plafonné en dessous. La fig. 5 est une autre coupe faite dans le même plancher par un second plan vertical perpendiculaire au premier, et passant au milieu de l'intervalle de deux solives, auxquelles il est parallèle, suivant la ligne *D E* de la fig. 6. Nous ne donnerons point de projection horizontale de ce plancher, parce qu'elle ne présenterait que les rectangles ou les hexagones du carrelage, formant la surface de l'aire supérieure.

a, solives; *b*, lattis supérieur en lattes de bois de chêne clouées sur les solives, presque jointives, perpendiculairement à leur direction, et en liaison; *c*, aire en plâtras ou en menues pierres légères, maçonnées sur le lattis; *d*, carrelage maçonné en plâtre et composé de carreaux de terre cuite, hexagonaux et rectangulaires, ou de pierres plates de deux couleurs, suivant les usages du pays et la destination des appartements; *e*, lattis inférieur, également en lattes de bois de chêne clouées à plat sous les solives, et perpendiculairement à leur longueur; *f*, hourdages en augets, faits en plâtre entre les solives, au-dessus du lattis inférieur; *g*, plafond en plâtre, qui se soude au plâtre du hourdage par les joints laissés entre les lattes.

Le hourdage en auget a pour objet d'assourdir les planchers et de les rendre imperméables aux odeurs désagréables qui pourraient les traverser. On les emploie surtout pour les planchers établis au-dessus des cuisines et

des écuries. On fait le hourdage d'un plancher avant de clouer le lattis de l'aire supérieure.

Le hourdage en auget est moins pesant que le remplissage complet de l'espace entre les solives en plâtre et plâtras. On ne donne à chaque auget, dans le milieu de sa largeur, que 0^m,08 à 0^m,11 d'épaisseur, qui suffisent pour l'imperméabilité; mais, des deux côtés, on élève ses bords le long des faces des solives, et, pour les faire mieux adhérer au bois, on larde préalablement les faces verticales des solives avec des clous et des rappointissages, ou des tampons, comme pour les remplissages des pans de bois (1).

Lorsque ce hourdage n'est pas nécessaire, pour ne pas charger autant les planchers, on se contente de hourder en plafond les intervalles des solives sous le lattis de l'aire supérieure, C'est ce qu'on appelle *hourder*, ou *plafonner en entrevous*. Ce mode de plafond est représenté par les coupes, fig. 7 et 8, faites, suivant les lignes *F H*, *G K*, par deux plans verticaux, l'un parallèle et l'autre perpendiculaire aux solives, dans un plancher dont l'aire supérieure est maçonnée et carrelée comme celle du plancher des deux figures précédentes. Les mêmes lettres désignent, dans les fig. 7 et 8, les mêmes parties de l'aire supérieure que dans les fig. 5 et 6. L'épaisseur du plafond en entrevous est marquée de la lettre *h*. Pour mieux faire adhérer le plâtre des entrevous, on larde les solives sur l'épaisseur du hourdage avec des rappointissages; et, pour le maintenir mieux encore, il convient de faire des feuillures dans le haut des faces des solives dans lesquelles le hourdage se loge par ses deux bords. Les plafonds à entrevous atteignent à peu près le même but que ceux hourdés en augets, sous le rapport de l'imperméabilité; ils ont l'inconvénient de laisser les solives apparentes: cet inconvénient peut être fort léger dans maintes circonstances; mais il est fort grave en cas d'incendie, vu que les solives sont exposées aux premières atteintes des flammes.

On préfère, aux plafonds en entrevous, les plafonds continus, même lorsqu'on ne fait point de hourdage, dans les localités où l'on est forcé de ne point prodiguer le plâtre.

Dans les fig. 2 et 4 on a représenté les coupes d'une portion d'un plafond de cette sorte, établie sous un plancher dont l'aire supérieure est en bois. *m*, lattis en lattes de bois de chêne clouées à plat sous les solives

(1) Voyez page 247.

perpendiculairement à leur longueur et en liaisons, c'est-à-dire de façon que les bouts de lattes ne se trouvent pas réunis par rangs sur les mêmes solives. *n*, épaisseur de l'enduit en plâtre formant le plafond. Les lattes laissent entre elles des joints suffisants pour que le plâtre pénètre au-dessus d'elles, et qu'en refluant, il enveloppe toutes leurs arêtes et s'y agrafe solidement.

Dans quelques départements on se sert, au lieu de lattes de bois de chêne, de lattes de sapin fendues à la scie, ou de planches de sapin très-minces brisées par fentes avec un hachereau et dont on écarte les éclats en les clouant sous les solives. Dans d'autres lieux, on se sert de roseaux, que l'on cloue également après les solives. Enfin, dans les localités où l'on manque de plâtre, on le supplée, pour la construction des plafonds, par un mortier appelé *blanc à bourre*, et même par des remplissages en *torchis h*, entre les solives *a*, fig. 12, construits de la même manière que ceux que nous avons décrits au sujet de la construction des cloisons. On a fait aussi des remplissages de plafond au moyen de voûtes légères *g*, fig. 15, composées de briques maçonnées sur l'une de leurs plus petites dimensions, et portées par des rainures creusées dans les faces verticales des solives.

Les plafonds en plâtre et en *blanc à bourre* sont souvent encadrés le long des murs ou des pans de bois et cloisons formant les parois des appartements, par des gorges ou des corniches également en plâtre, et par diverses moulures, qui forment des compartiments décorés d'ornements moulés.

Lorsque les planchers ont une grande portée, ils sont fort élastiques, surtout lorsqu'on emploie, pour leur construction, des bois résineux; il serait à craindre alors que les mouvements de vibration qu'ils éprouvent dégradassent leurs plafonds en plâtre, ou au moins les fissent fendre dans toutes les directions, si on les lattait sur leurs solives. Pour prévenir ces dégradations, on établit sous la charpente de ces planchers une autre charpente plus légère qui a pour objet unique de porter les plafonds. Lorsque le lattis est en lattes de fente de chêne qui sont faibles, on est obligé de mettre autant de solives pour porter le plafond que pour porter le plancher de pied, afin de mieux soutenir les lattes; mais on y emploie des bois d'un équarrissage plus faible. La fig. 15, pl. XXXIII, est une coupe par un plan vertical perpendiculaire à la direction des solives, d'une double charpente de plancher, pour le cas dont nous parlons. Les solives *a*, vues par leurs bouts, portent le plancher de pied *b*; les solives *c*, d'un équar-

rissage plus faible, également vues par leurs bouts, sont établies dans les intervalles des premières et à niveau inférieur; elles portent le lattis *m m*, hourdé comme nous l'avons dit précédemment, et revêtu d'un enduit en plâtre *r*, qui peut être lisse ou chargé d'ornements et de peintures. On voit que, par cette disposition, le plancher supérieur peut osciller sans que celui qui est en dessous se ressente d'aucun de ses mouvements.

Lorsque, au lieu de lattes en chêne de fente, on se sert, pour faire le lattis, de feuilletés de chêne ou de sapin, fendus au bachelereau, selon la méthode ci-dessus décrite, on peut écarter beaucoup plus les solives qui doivent porter le plafond. La fig. 16, pl. XXXIII, est une coupe de cette disposition. Les solives *e* portent le plancher de pied *d*; les solives *i*, plus écartées, et néanmoins distribuées dans les intervalles des solives supérieures, portent le lattis en feuilletés ou en planches fendues *n*, après lesquelles le plâtre du plafond *s* est adhérent.

On construisait jadis des planchers dans lesquels le volume de la maçonnerie, pour former les aires, était beaucoup plus considérable que celui du bois de leur charpente. Les fig. 13, 14, 15, sont des coupes par des plans verticaux, perpendiculaires à la direction des solives, dans des planchers exécutés suivant cette méthode. Ces planchers étaient connus sous le nom de *planchers voûtés sur poutrelles*.

a solives ou *poutrelles*, horizontales et parallèles, vues par leurs bouts; elles sont portées par leurs extrémités dans des murs en maçonnerie, et jamais dans des pans de bois; *b*, voûtes portant sur les faces inclinées ou délardées des poutrelles. Les premiers voussoirs de ces petites voûtes étaient posés sur les solives avec du mortier de terre grasse, pour éviter le contact du bois avec la chaux; le reste était maçonné avec du mortier en chaux et sable. Ces voûtes étaient ordinairement construites en moellons ou en briques. *c* maçonnerie de remplissage en moellons; *d*, aire; *e*, pavé en carreaux ou en briquettes de terre cuite posées et maçonnées à plat; *f*, pavé en briques dures maçonnées de champ. Ce mode de construction avait été adopté, notamment pour les casernes, afin d'économiser le bois de chêne dans les provinces où l'on devait le réserver pour d'autres parties des bâtiments et éviter les grandes voûtes qui exigent de la hauteur dans les étages. Les *planchers voûtés sur poutrelles* sont imperméables aux odeurs incommodes; on les employait surtout pour cette raison au-dessus des écuries. L'usage en a été abandonné dans beaucoup d'endroits à cause de leur grand poids, qui chargeait trop les murs de face des bâtiments; on leur a préféré, pour les casernes des places de guerre, les voûtes qui ont,

sous le rapport militaire, l'avantage de présenter des abris qu'on n'appréciait pas jadis autant qu'aujourd'hui.

§ 2. Charpentes des planchers.

Les charpentes des planchers sont susceptibles, comme celles des pans de bois, de différentes combinaisons. 1° Des solives parallèles peuvent être portées par les parois, ou distribuées par travées portées sur des poutres.

2° Les principales pièces de bois peuvent former diverses sortes de compartiments, dont le remplissage est fait par des solives et des soliveaux.

3° Les bois peuvent être combinés par des enrayures.

La fig. 1, pl. XXXII, représente différents modes de construction de la charpente des planchers portés par les parois auxquelles aboutissent des solives parallèles.

En *A* est le plan ou la projection horizontale de la charpente d'un plancher compris entre trois pans de bois et un mur *M* et porté par eux. Les solives *a*, parallèles entre elles, à l'un des pans de bois et au mur *M*, portent, sur toute la largeur des sablières hautes, ou chapeaux *b*, des pans de bois de l'étage inférieur au plancher qu'elles composent. Quoiqu'on ait projeté les poteaux *P*, *P* des pans de bois, on suppose que les sablières posées au-dessus des solives sont enlevées pour laisser voir leurs bouts.

La fig. 3 est une coupe, par un plan vertical, des quatre premières solives de ce plancher, suivant une ligne, *m n*, marquée au plan. Cette coupe fait voir les projections verticales de deux portions des poteaux *P* du pan de bois parallèles aux solives *a* coupées, le bout du chapeau *H*, le bout de la sablière *S*, et le bout d'une pièce de remplissage, ou *sous-sablière* *T*, placée entre le chapeau et la sablière pour remplir l'espace qui répond, dans le pan de bois *Q R*, à l'épaisseur des solives du plancher.

La fig. 4 est une coupe d'une partie du même plancher, par un plan vertical, suivant la ligne *p q* du plan. Elle fait voir la projection en long d'une partie d'une des solives *a*. Les autres pièces sont marquées des mêmes lettres que dans la figure précédente.

Les trois pans de bois qui entourent ce plancher sont liés entre eux par des équerres en fer qui embrassent les poteaux corniers, *Q*, *R*, et avec les murs, *N*, *O*, par des bandes en fer à scelléments.

La partie *B* est le plan de la charpente d'un autre plancher, compris entre quatre murs et porté par ceux *N* et *O*, auxquels aboutissent les solives *b* parallèles, qui y sont scellées, étant préalablement posées et calées de

niveau et de dévers, leurs faces supérieures étant dans le même plan horizontal à la hauteur fixée pour le niveau de l'étage auquel appartient ce plancher.

La fig. 5 est une coupe, par un plan vertical, des quatre premières solives *b, b', b'', b'''*, de ce plancher, et du mur *M*, qui leur est parallèle, suivant une ligne *m p*, marquée au plan, fig. 1. La fig. 6 est une autre coupe, par un plan vertical, suivant la ligne *n q*; cette coupe s'étend dans le mur *N*, dans lequel les bouts des solives *b* sont scellés. Une de ces solives est projetée sur cette coupe.

En *C*, la fig. 1, est le plan d'un autre plancher dont les solives *c* portent sur des sablières *d*, logées des trois quarts de leur largeur et souvent en totalité dans les murs *N, O*; ces sablières sont posées au même niveau et de dévers. Les solives *c* sont équarries avec précision, d'épaisseurs égales, afin que le parement supérieur de la charpente soit exactement de niveau en tous sens. Les solives sont à égales distances les unes des autres, et espacées, suivant l'usage, tant plein que vide.

La fig. 7 est une coupe, par un plan vertical, de quatre des solives *c* de ce plancher, suivant la ligne *m o* du plan, et la fig. 8 est une autre coupe du même plancher, suivant la ligne *n p*. On lie quelquefois les sablières aux murailles par des barreaux en fer à scellement *x*.

Les solives *h* du plancher *D*, fig. 1, sont posées sur des sablières *g, g* portées par des *corbeaux* ou *consols* *f*, scellés dans les murs. La fig. 9 est une coupe de ce plancher suivant la ligne *m q*, et la fig. 10 est une autre coupe suivant la ligne *o p*. Dans la fig. 9 un des corbeaux *f* est vu de face; il est vu de profil dans la fig. 10. Au lieu de faire porter les solives *h* sur les sablières, on les y assemble quelquefois à tenon et mortaise comme celles des fig. 5, 6 et 7, pl. XVII, ou par entailles à paumes, figurées sur la même planche, lorsqu'on veut diminuer l'épaisseur du bois contre les murs, pour que les corbeaux puissent être compris dans l'épaisseur des corniches dont on décore les plafonds.

Le plancher *E*, fig. 1, pl. XXXII, est composé de *maîtresses* solives *i*, scellées chacune par les deux bouts dans les murs, et écartées d'axe en axe à distance de trois intervalles. Des solives *boiteuses* *k, k* sont établies entre les maîtresses solives, à raison de deux ou trois par travée. Les solives boiteuses sont scellées, chacune d'un bout, dans les murs, et de l'autre bout elles sont assemblées dans des *liquoirs* *e* et *g*, qui sont eux-mêmes assemblés dans les maîtresses solives, tenues à cause de cela un peu plus fortes que les autres dans leur épaisseur horizontale seulement, afin que leurs faces supérieures

et inférieures affleurent les deux parements de la charpente du plancher. On fait alterner, d'un côté à l'autre, les lingoïrs, afin que les scellements soient également répartis entre les deux murs.

La fig. 41 est une coupe du plancher *E*, par un plan vertical, sur la ligne *m r*, tracée au plan fig. 4, et la fig. 12 est une coupe du même plancher par un plan dont la trace est la ligne *s p*, sur le même plan.

On peut, à la rigueur, n'employer, dans la construction d'un plancher, que des lingoïrs et des solives boiteuses; dans ce cas, les lingoïrs sont assemblés dans des solives boiteuses au lieu de l'être dans des solives entières. Cette disposition se trouve représentée par les prolongements ponctués du lingoïr *y*, jusqu'aux solives boiteuses *k', k'*, et les solives entières *i, i*, deviennent boiteuses. Elle est reproduite dans le plancher fig. 11, pl. XXXIII, dans lequel les lingoïrs *c* sont établis sur les lignes qui divisent la largeur du plancher en trois parties égales. Ils sont assemblés dans le milieu de la longueur de deux solives boiteuses, *a* ou *a'*, et ils reçoivent dans leur milieu chacun une seule solive boiteuse *a'* ou *a*, et des solives de remplissage, *b* et *b'*, enlignées avec les premières. Cette disposition donne le moyen de construire des planchers avec des solives qui n'ont pour longueur que les deux tiers de largeur du bâtiment.

Les planchers peuvent aussi n'être portés que par les scellements des maîtresses solives, entre lesquelles les soliveaux de remplissage sont assemblés des deux bouts dans des lingoïrs. La fig. 4, pl. XXXIII, en présente un exemple dans la charpente du plancher d'un salon rond, construit dans une tour formant l'arrondissement d'un bâtiment à l'angle de deux rues de la ville de Rouen. Ce plancher a été exécuté d'après le dessin du charpentier Fourneau, dont nous avons parlé dans notre préface. Les maîtresses solives *a, a, a, a*, sont scellés dans les murs par leurs deux extrémités; elles portent les lingoïrs *b*, très-rapprochés des murs et parallèles aux cordes des parties de la circonférence intérieure de la tour, comprises entre les solives. Les lingoïrs *c* sont assemblés d'un bout dans les solives extrêmes; de l'autre bout, ils sont scellés dans le mur. Tous les lingoïrs de ce plancher servent à porter les soliveaux *d* et les empanons *e* de remplissage. Cette disposition a été adoptée pour que les linteaux des portes et des fenêtres de l'étage inférieur ne soient point chargés du poids des parties de plancher qui leur correspondent.

L'un des lingoïrs *g* forme l'enchevêtre de la cheminée *h*.

On peut enfin construire un plancher en n'y employant que des solives boiteuses, comme celui représenté fig. 44, pl. XXXIII. Les solives boiteuses *a*

et σ , font des angles égaux en sens inverse avec les murs; celles marquées a , qui sont scellées par un bout dans le mur m , sont assemblées par l'autre bout dans les solives σ , qui sont scellées par un bout dans le mur opposé n , et assemblées de l'autre bout dans les solives a . Vu la petitesse de l'angle que les solives a et σ font entre elles, leurs assemblages sont fort longs, et les mortaises les affaibliraient trop si on leur donnait la profondeur ordinaire des deux tiers de l'épaisseur des bois; on ne donne à la profondeur des mortaises et à la longueur des tenons que le tiers de la largeur horizontale des solives. Cette réduction de la dimension des tenons et mortaises ne permet pas de les cheviller; mais elle est compensée par la longueur des assemblages dont on consolide la tenue en joint par deux petits boulons v, v , à chacun.

On met les boulons à mesure qu'une solive est posée, vu qu'on ne pourrait plus les placer si toutes les solives étaient assemblées.

On pourrait remplacer les boulons par des tampons chassés entre les solives sur les mêmes alignements que les boulons et tenus par des clous lardés de biaiz; mais les boulons sont préférables.

La fig. 2, pl. XXXII, représente, en projection horizontale, des planchers dont les solives parallèles portent au moins d'un bout sur des poutres.

En F , les solives a sont portées par un bout dans le pail de bois vertical MN , qui forme l'extrémité ou le pignon d'un bâtiment; de l'autre bout elles sont portées par une poutre b qui trouve ses appuis dans les pans de bois MR, NR ; les solives c portent d'un bout sur cette même poutre b ; de l'autre bout elles sont scellées dans le mur de refend QR .

Lorsqu'une poutre doit être portée, comme celle b , par des pans de bois, ses *occupations* ou *chambrées* dans les pans de bois, sont comme celles des solives entre les chapeaux et les sablières qui répondent à son niveau; ce qui oblige à ne pas placer au même niveau les chapeaux et les sablières des pans de bois qui se joignent, lorsque les planchers sont soutenus en partie par des poutres, à moins qu'on ne puisse comprendre l'épaisseur des solives dans celle des poutres.

Les poutres doivent être portées dans les pans de bois par des poteaux de fort équarrissage, arc-boutés par des guettes et des décharges.

Pour assurer aux pans de charpente des planchers d'une bâtisse en bois la même invariabilité qu'aux autres pans de bois, invariabilité qui est nécessaire pour la parfaite solidité de l'édifice, on établit dans les angles des planchers des goussets g, g , assemblés d'un bout dans les sous-sablières e , et de l'autre bout dans les solives a' , boulonnées aux poteaux P . Le remplissage

des angles du plancher, correspondant aux goussets, se fait au moyen de soliveaux empanons *d*, qui portent d'un bout sur les sablières du pan de bois *M N*, ou sur la poutre *h*, et qui sont assemblés de l'autre bout dans les goussets.

La fig. 15 est une coupe supposée faite, par un plan vertical, dans le plancher *F* sur la poutre *h*, suivant la ligne *r s* du plan. Les solives *a* et *c* portent au-dessus de la poutre *h*.

En *G*, même fig. 2, les solives du plancher sont établies par *travées* (1); celles *f* de la première travée sont scellées d'un bout dans le mur *Q R*, de l'autre bout elles sont portées dans les entailles par la poutre *i*. Les solives *k* de la seconde travée sont portées d'un bout dans les entailles de la même poutre *i*, et de l'autre bout sur l'une des lambourdes *o* de la poutre *k*; les solives *l* de la troisième travée sont portées d'un bout sur la seconde lambourde *o* de la même poutre *k*, et de l'autre bout sur la poutre *m*; enfin, les solives *n* de la quatrième travée sont portées d'un bout par cette dernière poutre *m*, et de l'autre bout elles sont scellées dans la muraille *S T*. Ce plancher pourrait être continué indéfiniment. Pour réunir dans la même figure les différents modes de construction, les assemblages sont différents; mais ordinairement l'assemblage est le même pour toutes les travées d'un même plancher.

Pour diminuer l'épaisseur *m n*, fig. 15, que les poutres et solives occupent, aux dépens de la hauteur, entre le plancher et le plafond de l'étage inférieur, on entaille les poutres pour y loger une partie ou la totalité de l'épaisseur des solives.

Ce mode de construction d'un plancher sur poutres avec solives assemblées dans des entailles, est représenté par la coupe fig. 13, faite par un plan vertical perpendiculaire à la poutre *i* du plancher *G*, suivant la ligne *t u* marquée au plan. Lorsque l'on craint que les entailles d'assemblage affaiblissent trop les poutres, on fait porter les solives sur des *lambourdes* ajoutées des deux côtés des poutres et fixées par des boulons. La coupe fig. 14, faite dans le même plancher *G*, par un plan vertical, suivant la ligne *v x* marquée au plan, fait voir cette disposition, sur laquelle nous aurons sujet de revenir en parlant des *poutres* dites *armées* et de l'emploi du fer.

Lorsque les proportions des bois et leur distribution déterminent à employer des poutres méplates, comme celle *m*, qui ne permettent pas, à cause de leur peu d'épaisseur, ni d'y assembler les solives *l* et *n*, ni de les poser en

(1) Une travée est une partie de plancher comprise entre deux poutres. Du latin *trabs*, poutre.

dessus bout à bout, parce qu'elles n'auraient point une portée suffisante, on les croise en plaçant les unes dans les intervalles des autres. La fig. 16 est une coupe, par un plan vertical perpendiculaire à la poutre *mm*, suivant la ligne *yz* marquée au plan.

Les planchers sur poutres reçoivent des plafonds comme ceux uniquement formés de solives. Lorsque les plafonds sont en bois, on revêt les poutres en planchers et même en panneaux de menuiserie, à moins qu'on n'ait eu soin, comme on le pratiquait jadis, de dresser et de polir leurs faces, et de les décorer de moulures et de reliefs pris dans leur propre masse. Si les plafonds des solives sont faits en plâtre, les poutres sont revêtues sur leurs trois faces apparentes d'un lattis et d'un enduit en plâtre qui les enveloppent et se raccordent avec ceux des solives. Le plafonnage des poutres est chargé de moulures et de reliefs, et même de peintures et de dorures, comme celles dont les plafonds des travées sont ornés lorsque la décoration des appartements comporte ce luxe.

§ 3. *Enchevêtrures pour cheminées.*

Pour soustraire un plancher à l'action du feu entretenu dans les cheminées de l'étage où il est établi, on dispose sa charpente de manière à laisser sous l'emplacement de chaque foyer un grand espace, vide de bois, qu'on remplit en maçonnerie dans l'épaisseur des solives.

On laisse aussi le long des murs des ouvertures dans la charpente des planchers pour le passage des tuyaux des cheminées établies dans les étages inférieurs; on donne à ces ouvertures des dimensions assez grandes pour que les bois qui en forment l'encadrement se trouvent suffisamment écartés des souches et qu'ils n'aient rien à craindre du feu, qui peut prendre dans leurs tuyaux, soit que les maçonneries formant les parois des souches s'élevaient à une haute chaleur, soit qu'elles livrent passage au feu par quelques crevasses. Des ordonnances fixent la distance qu'on doit laisser entre les bois, les souches et foyers des cheminées (1).

Le plancher *A*, fig. 1, pl. XXXII, est interrompu devant la cheminée établie dans le mur *M*, dans l'espace répondant aux jambages *z, z*, de cette

(1) L'ordonnance la plus ancienne est celle rendue le 26 janvier 1672 par le lieutenant de police de la Reynie. Elle fait défense de poser âtres et foyers sur les solives; elle prescrit les enchevêtrures et les détails de construction auxquels on est encore astreint aujourd'hui.

cheminée. L'encadrement de cet espace est appelé enchevêtrement; la solive *a* est la solive d'enchevêtrement; elle reçoit les deux chevêtres *d, d*, qui lui sont assemblés d'un bout, et qui sont scellés de l'autre dans le mur *M*. Ces deux chevêtres ont pour objet de porter les deux solives boiteuses *o, o*, parce qu'une solive entière ne peut pas, à cause du danger du feu, passer sous le foyer *f*.

Le plancher *B* laisse un vide dans l'emplacement de l'âtre *f* d'une autre cheminée qui a plus de saillie que la précédente, parce qu'elle est en avant de deux tuyaux de cheminée des deux étages inférieurs. La solive d'enchevêtrement *k* porte deux chevêtres *t, u*, dans lesquels les solives boiteuses *v, v*, sont assemblées, pour former le remplissage entre l'enchevêtrement et les murs. L'une de ces solives boiteuses *x* sert d'enchevêtrement devant une souche de trois tuyaux déviés des étages inférieurs; elle reçoit un petit chevêtre *m* qui soutient une solive boiteuse *n*.

Le plancher *C*, même figure, porté sur les lambourdes engagées dans les murs *N, O*, est interrompu pour l'établissement de l'âtre *g* d'une cheminée adossée au mur *O*.

L'enchevêtrement, dans cet exemple, est perpendiculaire aux solives; son encadrement est formé par deux solives *e' e'* qui font l'office de deux chevêtres, et par un linçoir d'enchevêtrement *i*, qui porte les assemblages des solives boiteuses *e, e*, interrompues devant l'âtre; la lambourde *d*, engagée dans la muraille, est interrompue dans l'emplacement occupé par la cheminée et elle forme deux parties.

En *D*, le plancher présente la même construction pour le cas où le plancher est porté par des lambourdes sur corbeaux. Les solives *h', h'*, reçoivent les assemblages d'un linçoir *j* qui porte les bouts des solives boiteuses *h, h*. La lambourde du côté de la cheminée est également interrompue dans la partie qui répond à l'âtre *v*.

Une disposition semblable aux cadres des enchevêtrements des planchers *C* et *D* se trouve établie dans le plancher *E* pour le passage d'un tuyau de cheminée *r* au moyen d'un linçoir *y*.

On voit, dans le même plancher, une enchevêtrement pareille à celle du plancher *A*; elle répond à l'emplacement d'une niche pour un poêle, qui exige la même précaution que pour unâtre de cheminée, parce que le danger est à peu près le même, et que dès qu'il y a un tuyau pour la fumée d'un poêle, on doit prévoir le cas de la substitution d'une cheminée à la niche du poêle.

L'emplacement d'unâtre de cheminée est conservé dans le plancher *F*,

fig. 2, même pl. XXXII, par un linoir d'enchevêtrure de la même manière que dans les planchers *C* et *D* de la fig. 1. Dans la seconde travée du plancher *G*, fig. 2, se trouve une enchevêtrure *h'* pareille à celles des planchers *A*, *B*, *E*, de la fig. 1. Dans la première travée du même plancher *G* un linoir *g* reçoit les assemblages de quatre solives boiteuses, qu'on n'a pas pu faire porter dans la maçonnerie du mur *Q R*, à cause de deux tuyaux de cheminée *r*, *r*, qui affleurent le parement de ce mur.

Lorsque les murs ne sont point épais, on doit s'abstenir également de faire porter des solives dans ceux auxquels des cheminées sont adossées; ainsi il eût été prudent, vu la faible épaisseur du mur *Q R*, de prolonger le linoir *g* de la première travée du plancher *G* jusqu'à la première solive *f*, comme nous l'avons indiqué en lignes ponctuées, afin que les solives *f f* ne fussent point scellés derrière le foyer *g*.

Enfin, dans la seconde travée de ce même plancher, une enchevêtrure est établie pour l'emplacement d'unâtre en *p*; la solive d'enchevêtrure, portée par les poutres *i*, *k*, reçoit les deux chevêtres *z*, *z*, dans lesquels les deux solives boiteuses *v*, *v*, sont assemblées chacune par un bout, tandis qu'elles portent, comme les autres solives, sur les poutres.

Quoique les charpentiers ne soient point chargés de la confection des âtres, encore faut-il qu'ils en connaissent la construction pour qu'ils puissent, quelle que soit la combinaison adoptée pour la charpente d'un plancher, disposer convenablement les enchevêtrures, afin que les âtres soient solidement établis, et qu'elles présentent les garanties que requiert un objet si important. C'est pour cette raison que nous donnons, pl. XXXVI, les détails de la construction des enchevêtrures et des âtres qu'elles supportent.

La fig. 8 est la projection horizontale d'une partie de la charpente d'un plancher avec ses enchevêtrures; la fig. 9 est une coupe suivant la ligne *PM* du plan, et la fig. 10 une autre coupe suivant la ligne *QN*.

Le mur de refend dans lequel sont scellés les bois du plancher et qui porte les souches des cheminées, est marqué par des hachures *o o*, au plan, fig. 8, et dans la coupe, fig. 10.

a, *a*, jambages d'une cheminée; *b*, *b*, jambages d'une autre cheminée; *c*, tuyau d'une cheminée de l'étage inférieur passant immédiatement à côté du jambage de droite de la cheminée *b b*; *e*, *e*, *d*, *d*, solives d'enchevêtrure scellées dans le mur *O O*; *f*, *g*, linoirs d'enchevêtrure assemblés dans les solives d'enchevêtrure, et formant avec elles les encadrements des âtres ou *trémies* des foyers; *h*, *h*, solives boiteuses assemblées

dans les lingoires d'enchevêtreure; *i, i*, lingoires assemblés dans les solives d'enchevêtreure, ayant pour objet de soutenir les solives *h, k*, qu'on ne peut pas sceller dans le mur *O O*, parce que les tuyaux de cheminée sont compris dans l'épaisseur des parties qui correspondent à ces solives; *l* solive scellée dans le mur *O O*. Les solives d'enchevêtreure doivent être plus fortes que les autres solives, parce qu'elles portent, par l'intermédiaire des lingoires *f, g, i*, le poids de la partie des solives boiteuses et du plancher répendant à ces lingoires.

Les lingoires sont assemblés à tenons et mortaises dans les solives d'enchevêtreure avec des renforts du genre de ceux représentés dans les figures numérotées de 3 à 11, pl. XVII. Mais, vu qu'ils portent la charge des planchers répendant aux solives boiteuses *h* et *k* pour assurer leurs assemblages et prévenir tout accident, ils sont soutenus par des étriers en fer *m, n*, qui les enveloppent latéralement et en dessous, et qui sont attachés par leurs deux branches repliées en dessous des solives d'enchevêtreure où elles sont clouées. Nous aurons occasion de donner d'autres détails au sujet de ces étriers en parlant des ferrures employées dans les charpentes. Les enchevêtreures de la fig. 8 sont du même genre que celles des planchers *G, D, E, F, G*, fig. 1 et 2, pl. XXXII. On conçoit que le système d'assemblage et de ferrure est le même s'il s'agit d'enchevêtreures comme celles des planchers *A, B*, fig. 1. La différence ne consiste que dans le sens où les solives se présentent aux foyers; dans celles-ci les lingoires sont remplacés par les solives d'enchevêtreure, et ces solives sont remplacées par des enchevêtres, également soutenus par des étriers, comme des lingoires.

p, p, bandes de trémie. Ces bandes sont en fer plat; elles sont pliées pour descendre en contre-bas de l'épaisseur du plancher où elles affleurent le dessous des solives; elles sont retenues par leurs extrémités repliées et étendues sur les faces supérieures des solives d'enchevêtreure, ou des chevêtres, où elles sont clouées en formant en outre un crochel par chaque bout. Les bandes de trémie partagent ordinairement la profondeur de l'âtre ou de la cheminée en trois parties, et à cet effet on en établit deux également écartées entre elles, ainsi que des murs et des bois; il serait mieux d'en mettre trois, dont une ne serait qu'à une dizaine de centimètres de la pièce du devant de l'enchevêtreure, pour mieux soutenir l'hourdage de la trémie, qui n'a dans cette partie aucune adhérence avec le bois, si ce n'est des clous et des rapointissages, tandis qu'il est bien soutenu du côté du mur par sa liaison avec la maçonnerie.

Lorsque la trémie a une grande portée, comme celle située entre les

enchevêtrures *e, e*, on place au niveau des bandes de trémie, des barreaux carrés *s, s*, de 28 à 35 millimètres de grosseur, qui sont scellés d'un bout dans le mur, et qui sont aplatis et coudés deux fois comme les bandes de trémie par l'autre bout, pour s'attacher avec des clous sur le lingeoir du devant de l'enchevêtrure, afin qu'ils aillent le dessous du plancher; les bandes de trémie sont coudées pour former avec eux des assemblages.

Dans les trémies de largeur ordinaire on met souvent par précaution un barreau de cette sorte, comme celui *r* de l'âtre de la cheminée *a a*. Il est toujours prudent de multiplier ces barreaux, et l'on agirait convenablement en en ajoutant deux *f, f*, que nous avons indiqués en lignes ponctuées, dans le cas d'une trémie d'une étendue aussi grande que celle qui répond à la cheminée *b b*, et au tuyau *c*.

Nous avons indiqué en *t* et en *u*, dans la coupe fig. 9, les hourdages qui doivent remplir les *trémies*. Ces hourdages ne sont point figurés au plan, ni dans l'autre coupe, pour ne point cacher la disposition des barreaux et des bandes de trémie. Les hourdages sont formés de plâtras, ou de briques, maçonnés en plâtre et bandés de champ comme une voûte, ce qui n'a aucun inconvénient lorsque les intervalles des solives sont hourdés. Dans le cas contraire, pour éviter la poussée des âtres sur les cadres d'enchevêtrure, on fait le remplissage des trémies en carreaux ou en briques posés à plat, également maçonnés en plâtre; mais alors il faut les soutenir en dessous par un grillage de trémie en petits barreaux de fer de 8 à 11 millimètres de grosseur, que l'on fait porter sur les deux bandes de trémie, comme nous les avons figurés dans la partie gauche de la cheminée *a a*. Il est indispensable, dans ce cas, d'établir une bande de trémie à un décimètre du lingeoir *f* pour soutenir d'un bout ces petits barreaux, qui sont scellés de l'autre bout dans le mur *O O*. Cette bande de trémie est également ponctuée sur la figure.

On établit dans les planchers des *lingeoirs* et des *chevêtres*, pour d'autres usages que celui des âtres des cheminées. Dans le plancher *D*, fig. 1, pl. XXXII, des *chevêtres a, a*, portant d'un bout dans les solives *k'*, et de l'autre dans les murs de refend *H, K*, servent à soutenir les solives boîtes *b* et les soliveaux *c*. On adopte cette disposition lorsqu'on veut employer des bois trop courts pour être consommés ailleurs. Dans le plancher *E* le lingeoir se peut avoir pour objet, en outre de celui que nous avons indiqué, de soutenir les solives *k'', k''*, pour qu'elles ne portent pas dans le mur *N*, au-dessus du linteau d'une fenêtre *u* de l'étage inférieur qu'elles pourraient charger trop.

§ 4. *Ouvertures pratiquées dans les Planchers.*

Les ouvertures autres que les enchevêtrures des cheminées ont pour objet soit le passage des escaliers qui font communiquer les étages entre eux, soit le passage d'objets qu'on peut faire monter ou descendre au moyen du cordage d'un treuil, soit enfin l'arrivée du jour verticalement dans un étage inférieur qui pourrait n'en pas recevoir d'ailleurs.

Le plancher *B*, de la fig. 1, pl. XXXII, est percé dans l'un des angles d'un vide carré, dans l'emplacement de la cage d'un escalier élevé sur un plan également carré; le poteau *P* est le noyau de l'escalier. Les solives *b'*, qui répondent à cet escalier, sont interrompues par un lingoïr *g* dans lequel elles sont assemblées; ce lingoïr est scellé par un bout dans le mur *M*, et de l'autre bout il est assemblé dans une solive *b'*. Il est soutenu en outre, comme toutes les pièces de même espèce, par un étrier qui n'est pas indiqué dans le dessin vu la petitesse de l'échelle, et qui a la forme de ceux des fig. 8, 9 et 10, de la pl. XXXVI.

Dans le plancher *F* de la fig. 2, pl. XXXII, le vide pratiqué pour la cage de l'escalier est circulaire; il est formé par la sablière *c*, la solive *i*, une lambourde logée dans la muraille *Q R*; le lingoïr *p* qui soutient les solives boiteuses *n* qui lui sont assemblées, et les goussets *z* qui forment les arrondissements des cadres, et sont taillés et assemblés comme ceux d'une fenêtre ronde décrite pag. 343 et 350, fig. 1, pl. XXVIII, et fig. 4, pl. XXIX.

Dans la troisième travée du plancher *G*, même figure, un vide rectangulaire est réservé pour le passage des objets suspendus aux cordages d'un treuil, ou pour donner issue au jour. Deux lingoïrs *d, d*, et les deux solives *l, l*, dans lesquelles ils sont assemblés, forment le cadre; les lingoïrs reçoivent l'assemblage des soliveaux *i, i*, portés par leurs autres bouts sur une des lambourdes *o* de la poutre *k* et sur la poutre *m n*.

Ces sortes d'ouvertures, réservées dans les planchers, sont ordinairement entourées d'un garde-corps, ou fermées, lorsqu'elles ont peu d'étendue, par un ou deux volets qui aillent le plancher de pied quand ils sont abattus. Nous donnerons des détails de ces garde-corps et volets, dans le chapitre destiné aux objets de cette espèce, sous le titre de *Constructions diverses*.

Les vides réservés pour l'issue du jour peuvent être circulaires comme celui qui a pour objet le passage d'un escalier, et être même d'un diamètre beaucoup plus grand; l'assemblage des pièces qui en forment les cadres,

est alors semblable à l'un de ceux employés dans la construction de divers cintres, dont nous parlerons dans les chapitres suivants.

§ 5. Planchers à la Serlio (1).

Les planchers à la Serlio sont ceux dans lesquels les solives principales sont toutes boiteuses, c'est-à-dire qu'en formant de grandes divisions rectangulaires elles portent toutes d'un bout dans les murs, et elles se soutiennent mutuellement remplissant l'une à l'égard de l'autre les fonctions de lingoirs. Ces sortes de planchers paraissent avoir été inventés afin de remédier à l'insuffisance de la longueur des bois, pour former d'une seule pièce la longueur d'un plancher.

La fig. 3, pl. XXXIII, est le plan d'un plancher à la Serlio. Quatre solives boiteuses *a, a, a, a*, portent chacune d'un bout dans les murs d'une salle carrée; elles s'assemblent perpendiculairement l'une à l'autre vers le milieu de leur longueur; les quatre vides rectangulaires qu'elles forment avec les murs sont remplis par des soliveaux *b, b*, établis parallèlement entre eux et à l'une des solives, sur la plus petite portée de ces espaces; d'un bout les soliveaux sont scellés dans les murs, de l'autre ils s'assemblent dans les solives; l'espace carré *c*, qui est au milieu de la charpente du plancher, est rempli par une combinaison semblable de quatre soliveaux *d, d, d, d*, entre lesquels le remplissage est fait par d'autres petits soliveaux. On laisse ordinairement les bois apparents en dessous de ces sortes de planchers, pour former décoration, ayant eu toutefois le soin de les équarrir et dresser proprement, et même de les orner de moulures sur leurs arêtes inférieures. Deux soliveaux ponctués *g, g*, font voir qu'on pourrait leur donner une direction perpendiculaire à celle qu'on a adoptée dans la figure. On pourrait même leur donner une position oblique, mais elle aurait l'inconvénient d'exiger des bois plus longs et par conséquent plus forts, vu leur portée. Un cercle ponctué montre que cette combinaison peut être appliquée au plancher d'un espace circulaire.

La méthode de Serlio est décrite par lui dans le 1^{er} livre de son *Architecture*; elle est imitée d'un amusement qu'on trouve dans d'anciens recueils de récréations mathématiques, qui consiste à placer trois ou quatre cou-

(1) Sébastien Serlio, célèbre architecte, né à Bologne en 1518, mort à Paris en 1552.

teaux, de façon que les bouts des manches, posant sur des points fixes de niveau, leurs lames croisées alternativement puissent soutenir en l'air un objet qu'on veut leur faire porter.

La fig. 2 est le plan d'un plancher établi, suivant un système analogue, dans un bâtiment circulaire, en n'employant que trois maîtresses solives boiteuses *a, a, a*, scellées par un bout dans le mur, et s'assemblant mutuellement vers les milieux de leurs longueurs; les soliveaux empanons *b* (1) de remplissage sont portés d'un bout dans le mur, de l'autre bout ils sont assemblés dans les solives. Ils sont parallèles entre eux dans chaque compartiment, et parallèles aussi à l'une des solives. Ils sont tracés, sur la figure, dans celle des deux positions qu'on peut leur donner pour qu'ils aient le moins de longueur. On pourrait leur donner une position perpendiculaire au plus grand côté du compartiment, comme ceux ponctués en *g, g*; il est aisé de voir que cette direction s'arrangerait mal avec la disposition des solives, et qu'elle multiplierait sans utilité les assemblages. Le triangle du centre *c* est rempli par des soliveaux combinés de la même manière que les solives principales.

La fig. 5 représente un plancher du même genre, dans lequel cinq solives sont combinées de manière à ne porter que d'un bout dans les murs, et à se soutenir mutuellement par leurs assemblages entre elles vers le centre, où elles forment un vide pentagonal.

Cette combinaison peut être faite avec autant de solives qu'on voudra. Cependant leur nombre en augmentant rend les assemblages plus obliques et le compartiment du centre de plus en plus grand, ce qui s'écarte du but qu'on doit se proposer.

Il est entendu que dans la construction de ces planchers, on fait les bois étroits dans le sens de la dimension horizontale de leur équarrissage, et qu'on leur donne une assez grande épaisseur dans le sens vertical pour faire de bons assemblages, qui dispensent de consolider ceux des solives par des étriers en fer, d'où résulterait en dessous un mauvais effet qu'il convient d'éviter; vu que lorsqu'on adopte de tels systèmes de planchers, en outre de l'économie qu'on veut faire sur la longueur des bois, on entend les laisser apparents en dessous pour servir à la décoration des plafonds.

(1) Les empanons, ou empannons, sont des bois ordinairement de faible équarrissage, tous parallèles entre eux, assemblés dans une même pièce, et décroissant de longueur comme les penes ou plumes de l'aile d'un oiseau.

Le système de construction du plancher à la Serlio, fig. 3, pl. XXXIII, a donné naissance à une foule de combinaisons basées sur le même principe. Nous ne nous arrêterons point à en multiplier sans utilité les nombreux exemples, qu'on peut trouver dans le recueil de Kraft. Nous nous bornerons à donner, fig. 5, le plan du plancher du château de plaisance du roi de Hollande, appelé la maison de bois, dont la construction est une extension du système de Serlio, et en est comme la limite (1). Ce plancher est exécuté dans une salle de 19^m,50 de côté; le dessin ne figure que l'un de ses quatre angles : celui compris entre les lignes *A B, A D*. La première, qui est la plus grande, ne représente que le tiers environ de la longueur de chacun des côtés, qui sont égaux. Ce plancher est construit en petites poutrelles de bois de chêne, formant trois cents petits caissons carrés. Toutes les poutrelles sont égales, sauf celles qui complètent le système le long des murs. Une quelconque de ces poutrelles, celle *e*, par exemple, est portée par ses deux bouts dans les entailles de deux poutrelles *b* et *f*, et en reçoit deux autres *d, d'*, dans ses entailles. Toutes celles qui joignent les murs sont reçues dans les entailles d'un cours de sablières *D A B* posées de niveau tout autour de la salle, et encastrées dans la maçonnerie. Le plancher de pied, que nous n'avons point indiqué au plan, est composé d'une double épaisseur de planches assemblées à rainures et languettes clouées sur les poutrelles, et qui se croisent à angle droit pour mieux retenir l'écartement dans les deux sens, en outre des bandelettes de fer, qui lient les assemblages. Ce double plancher de pied est marqué dans la coupe, fig. 6, faite par un plan vertical suivant la ligne *M N* du plan.

(1) La voûte plate de M. Abeille (*Machines de l'Académie des sciences*, 1669, t. I, p. 159), qui est plutôt un plancher d'assemblage qu'une voûte, est la véritable limite du système de Serlio. Nous donnons, fig. 11, pl. XXXIV, une projection verticale et une projection horizontale de quatre des pièces de cet assemblage; elles sont toutes identiques. Ce système laisse en dessus des vides en forme de trémiés; son plafond présente des carrés; quatre de ces carrés sont ponctués sur la figure.

Le P. Truchet a donné, dans le même recueil, un assemblage qui ne laisse point de vides. Quatre de ses pièces sont assemblées en projections verticales et horizontales, fig. 12; le plafond présente aussi des carrés. Son exécution est plus difficile, parce que les joints sont des surfaces de conoïdes. La fig. 13 est la projection horizontale d'une pièce qui n'est terminée que par des plans, et qui peut atteindre le même but. On peut enfin composer un assemblage du même genre, avec des plateaux carrés, fig. 14, qui portent des tenons à fil de bois, sur deux de leurs côtés, et des mortaises sur les deux autres, pour s'assembler avec les plateaux identiques contigus. Ces sortes de combinaisons sont plus propres à exercer l'intelligence et l'adresse que susceptibles d'applications utiles.

Les poutrelles sont taillées en dessous, de manière qu'elles forment une surface courbe, du genre de celles dites *surfaces de voûtes*. Une section quelconque, par un plan vertical, donne toujours un arc de cercle passant par les arêtes inférieures des sablières parallèles, et par le plus grand arc de cercle résultant de la section faite par un autre plan vertical, passant par le centre du plancher, et perpendiculaire au précédent. Cette courbure concave du dessous du plancher, lui a été donnée pour empêcher que le fléchissement des assemblages rendit le plafond convexe, parce que quelque petite qu'eût été sa convexité, vue d'en bas elle aurait été sensible et d'un effet désagréable.

Il en résulte aussi une diminution de charge au centre du plancher.

Lorsqu'on construit ces sortes de planchers, on divise leurs côtés en nombre impair, afin qu'il se trouve un carré ou caisson au centre.

Les assemblages des poutrelles sont du genre de celui fig. 9, pl. XVII. Nous en avons tracé un détail sur une échelle double, fig. 7, en projection horizontale, et fig. 8, par une coupe suivant la ligne *m n* du plan, fig. 7. Nous avons indiqué dans ce détail, qui peut se rapporter à un joint quelconque, *T*, fig. 5, les bandelettes de fer clouées qu'on a logées de leur épaisseur dans le bois à chaque joint, pour empêcher l'écartement des poutrelles. Ces bandelettes ne sont point marquées au plan ni dans la coupe, fig. 5 et 6, pour ne pas compliquer le dessin.

Pour piquer les assemblages, tout le plancher doit être mis sur lignes; les poutrelles sont établies en quatre étages, à moins qu'on ne puisse les couper toutes à peu près justes à leur longueur, auquel cas l'établissement peut avoir lieu sur deux étages de bois seulement. Toutes les poutrelles, après que les assemblages sont piqués, sont marquées de façon que lorsque le plancher est assemblé, chacune se trouve à la même place et dans le même sens qu'elle occupait sur l'ételon. La courbure du dessous de chaque poutrelle est tracée au moyen de calibres relevés de dessus une épure en grand.

L'assemblage du plancher se fait par cours de poutrelles, soit d'un sens soit de l'autre; c'est-à-dire que le cadre des sablières étant établi et scellé de niveau, on met en joint, dans les entailles des sablières, le cours des poutrelles entières du rang *a*, par exemple, et celles entières du rang *b, d, f, g, h*, avec lesquelles celles du rang *a* s'assemblent; on soutient les poutrelles du rang *a* sur un cintre; on met ensuite en joint tout le cours des poutrelles du rang *c* et celles des rangs *b, d, f, g, h*, avec lesquelles elles

s'assemblent, en les poussant toutes ensemble dans les entailles des poutrelles du rang *a*; les poutrelles du rang *c*, et celles *b*, *d*, *f*, *g*, *h*, sont aussi soutenues sur un cintre; on procède de même pour le cours de poutrelles du rang *i*, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toute la charpente du plancher soit assemblée. Les demi-poutrelles *x* et *y* se placent les dernières et se chassent à force dans les entailles, aussi bien que celles entières qui s'assemblent dans les sablières, afin de bien serrer tous les assemblages; et lorsque les bandelettes sont clouées, on ôte les cintres. Ce plancher exerce une légère poussée sur les sablières et sur les murs.

Le plancher fig. 5, pl. XXXIV, a beaucoup d'analogie avec le système de Serlio, quant à la combinaison des poutres; mais il en diffère essentiellement par le singulier mode de remplissage qu'on y a employé. Il a été construit à Corbeil, vers la fin du siècle dernier, dans un magasin de farines. La fig. 6 est sa coupe par un plan vertical suivant la ligne *MP*; la fig. 7 est une autre coupe suivant la ligne *RS*; et la fig. 8 une troisième coupe suivant la ligne *TU*. Ce plancher est carré, il a 43^m,65 de côté dans œuvre des murs; la fig. 5 n'en présente qu'une partie. Les principales pièces de sa charpente sont des poutres, posées diagonalement par rapport aux murs; elles forment des carrés de 2^m,27 de côté intérieurement. Ces poutres n'atteignent point les murs d'une seule portée; elles n'ont que 5^m,36 de longueur, leur équarrissage est de 0^m,325 de largeur sur 0^m,38 d'épaisseur verticale. Elles sont combinées à peu près comme celles du plancher de la maison de bois dont nous venons de parler. Elles sont assemblées par entailles carrées à mi-bois, de telle sorte que l'une d'elles *a* est supportée par ses bouts sur les milieux des poutres *b*, *b*, tandis qu'elle supporte dans son milieu des poutres *c*, *c*, et ainsi de suite, jusqu'aux murailles, où les dernières poutres se croisent à mi-bois, comme en *G*, et s'assemblent, comme en *H*, dans les entailles d'un encadrement de sablières *d* scellées dans la maçonnerie. Le remplissage des carrés est formé de soliveaux de 0^m,135 sur 0^m,19 d'équarrissage, posés de champ: ces soliveaux forment comme deux lits. Dans le lit supérieur ils sont tous dirigés diagonalement et parallèlement à la ligne *RS*; ils s'assemblent de toute leur épaisseur de 0^m,19 dans les entailles 0^m,040 de profondeur, creusées dans la moitié supérieure de l'épaisseur des poutres. Les soliveaux du lit inférieur, également posés de champ et diagonalement, croisent ceux du lit supérieur à angle droit et sont parallèles à la ligne *TU*. Ils s'assemblent dans les poutres par des tenons de la moitié de leur épaisseur, 0^m,040 de longueur, qui pénètrent dans les mortaises creusées sur les faces verticales des

poutres dans le troisième quart de leur épaisseur. Les soliveaux des deux lits se touchent, et ceux d'un lit sont fortement attachés à ceux de l'autre lit, qu'ils croisent, par des boulons marqués seulement au plan, fig. 5; de façon que le remplissage des carrés formés par les poutres sont des espèces de grilles comme d'une seule pièce. Pour obvier au fléchissement dont ce plancher était susceptible, vu son étendue, son poids et la charge des farines qu'il devait recevoir, et par l'effet du resserrement des assemblages, on lui a donné un bombement 0^m,047 au milieu, au moyen d'étais sous les assemblages à mesure qu'on posait les poutres qu'on faisait entrer de force dans leurs entailles mutuelles et dans celles des sablières; et pour empêcher l'ouverture des joints, les bouts des poutres s'assemblant et étant enlignés à un même point ont été liés par deux bandes de fer clouées à chaque joint et accrochées par leurs bouts dans les poutres. La fig. 9 représente un des joints, celui *F*, par exemple, vu par le dessous, garni de ses deux bandes de fer qui ne sont marquées à aucun joint du plan, parce qu'elles sont en dessous, et qu'en les ponctuant, on aurait sans utilité compliqué le dessin.

Le dessus de la charpente a été garni de planches clouées sur les soliveaux et les poutres, et l'on a maçonné un pavé en carreaux de terre cuite au-dessus d'un lit de poussière. Le dessous de la charpente a été revêtu d'un lattis et d'un plafond en plâtre qui cachent les bandes de fer dont nous venons de parler. Malgré la grande étendue de ce plancher, on lui a reconnu, suivant Rondelet (1), presque autant de solidité qu'à une voûte.

§ 6. Planchers à compartiments.

Les planchers à compartiments se composent de solives formant diverses figures qui se répartissent régulièrement par rapport aux lignes qui servent d'axes à la distribution du bâtiment, ou aux plans des espaces que les planchers occupent. On conçoit qu'il y a conséquemment une multitude de combinaisons qui peuvent produire ces compartiments; elles dépendent en même temps de la forme et de l'étendue du plancher, de la longueur et de l'équarrissage des bois qu'on y doit employer.

(1) *Art de bâtir*, t. III, p. 62.

Le plancher, fig. 1, pl. XXXIV, est un des plus simples. Le dessin n'en présente que la moitié, c'est-à-dire deux des angles du carré que forme son plan.

La fig. 2 est une coupe de ce plancher, par un plan vertical, ayant pour trace la ligne *AB* du plan.

Dans chaque angle un *coyer* *a* (1), placé diagonalement, porte par ses deux bouts dans les murs où il est scellé de niveau et de dévers. Les scellements des coyers sont distribués de façon à diviser les côtés du carré en trois parties. Les coyers reçoivent l'assemblage des lingoires *b* parallèles aux murs. Ces lingoires ont pour objet de soutenir les poutrelles jumelles *d, d, e, e*, qui se croisent à angle droit et s'assemblent à mi-bois au milieu du plancher, où elles sont serrées par quatre boulons. La queue carrée d'un boulon formant cul-de-lampe remplit l'espace vide que les poutrelles laissent au centre. Des goussets *g* et des soliveaux et empanons *h, f*, forment les remplissages. Le plancher de pied est formé de planches épaisses assemblées à rainures et languettes et clouées sur les soliveaux; il n'a point été indiqué au plan, pour ne point cacher les bois de la charpente : on en voit l'épaisseur dans la coupe, fig. 2. Les bois sont apparents en dessous; les poutrelles jumelles et les empanons sont gabariés pour que leurs faces de parement inférieur se trouvent dans une surface du même genre que celle du dessous du plancher de la maison de bois que nous avons décrit fig. 5 de la planche précédente.

Ce mode de compartiment peut être appliqué à un plan oblong; il peut être répété plusieurs fois dans l'étendue en longueur du plancher d'une galerie partagée en espaces carrés par des poutres; on peut aussi l'appliquer à des espaces ovales ou circulaires.

La fig. 3 est le plan de la moitié d'un autre plancher à compartiments. Les coyers *a* servent, comme pour le plancher précédent, à établir les portées de sa charpente dans les murs. Des lingoires *b, c, d, e*, alternativement parallèles aux murs et aux coyers, dessinent des compartiments de formes semblables, et qui décroissent proportionnellement en s'approchant du compartiment central. Les vides sont remplis par des empanons parallèles aux lingoires. La fig. 4 est une coupe faite dans ce plancher par un plan vertical suivant la ligne *DE*. Dans la construction de ce plancher on donne à tous les soliveaux le même équarrissage, mais les grosseurs

(1) Coyer, pièce qui forme liaison.

des linoirs diminuent à mesure que se rapprochant du centre du plancher ils ont une moindre charge à supporter. La coupe fait voir l'épaisseur du plancher de pied formé de planches clouées sur les soliveaux et les linoirs qu'elles croisent. Elles ne sont point marquées au plan, pour laisser voir entièrement le système de la charpente.

§ 7. Planchers polygonaux.

Dans les planchers polygonaux les axes des pièces de bois marquent le dessin de la charpente, où les faces de ces pièces forment des polygones ordinairement réguliers et concentriques, soit que leurs côtés homologues soient tous parallèles, soit que les angles des uns soient opposés aux côtés des autres. Nous allons donner un exemple de chacune de ces deux combinaisons.

La fig. 1, pl. XXXVI, est le plan d'un plancher à combinaison octogonale. Ce plancher a été exécuté dans une salle carrée d'une maison de commerce du faubourg Saint-Denis, à Paris. Le plan n'en présente qu'un quart, qui comprend cependant l'enrayure du centre en entier.

La fig. 2 est une coupe sur la ligne PQ marquée au plan. Un cours de sablières abc a été établi sur une retraite formée dans les murs, comme elle est marquée au profil de la maçonnerie, dans la coupe fig. 2. Après qu'on a eu établi à chacun des quatre angles un coyer no , qui forme avec les côtés du carré un octogone régulier dont la figure montre le quart $mnor$, on a inscrit dans cet octogone d'autres polygones semblables $m'n'o'r'$, $m''n''o''r''$, $m'''n'''o'''r'''$, etc., dont les côtés sont assemblés aux points $n'n''n'''$, $o'o''o'''$; et dans chaque polygone on a prolongé ses côtés de deux en deux par les deux bouts, comme $m'n'$ en x' , $m''n''$ en x'' , $m'''n'''$ en x''' , etc., $r'o'$ en y' , $r'o''$ en y'' , $r'o'''$ en y''' , etc., jusque sur les côtés no , $n'o'$, $n''o''$ du polygone circonscrit, afin d'attacher ensemble tous les polygones par des assemblages aux points x' , x'' , x''' , y' , y'' , y''' . Tous les polygones étant semblables, leurs angles n , n' , n'' , n''' , o , o' , o'' , o''' sont sur les rayons cn , co . Si les distances entre les périmètres des polygones étaient égales, les points x' , x'' , x''' , y' , y'' , y''' seraient sur des parallèles xz , yz aux rayons cn , co , et au point z se terminerait la combinaison octogonale, parce que les côtés homologues de mn et de ro se joindraient au point z pour former un carré; mais ce carré serait trop grand pour le milieu du plancher. Pour réduire l'étendue du carré cen-

traî, on fait décroître l'écartement des côtés des polygones, et pour que le décroissement se fasse suivant une loi régulière, on reporte le point z en v , plus près du centre, et l'on trace les lignes $v x$, $v y$, sur lesquelles on place les points d'assemblage des polygones entre eux, de façon que la diminution de grandeur des polygones résulte de la rencontre de leurs côtés avec les lignes $c u$, $c o$, et $v x$, $v y$, de sorte qu'ils sont toujours réguliers et semblables; et la distribution en est faite en traçant leurs côtés dans l'ordre suivant : $m' x'$, $r' y'$; $n' o'$; $m'' x''$, $r'' y''$; $n'' o''$; $m''' x'''$, $r''' y'''$; $n''' o'''$, successivement par les points où les côtés rencontrent alternativement les lignes $v x$, $v y$, et les lignes $c u$ et $c o$.

Lorsque le tracé est fait, on marque en dehors des polygones les épaisseurs des soliveaux, on remplit le carré $t v s$ par des goussots qui en arrondissent les angles intérieurement, et par une petite enrayure formant cul-de-lampe en dessous du plancher.

Les soliveaux sont assemblés les uns avec les autres à queues d'hironde simples, biaises; ils décroissent d'équarrissage à mesure qu'ils sont plus rapprochés du centre et qu'ils ont moins de portée. Leur décroissement est donné par la position d'une ligne $p q$ tracée dans la coupe, fig. 2. Pour lier ensemble les soliveaux parallèles, on leur a assemblé en dessous par entailles, à moitié bois, des liernes h boulonnées qui les croisent dans leur milieu. Les remplissages entre les coyers et les murs sont faits par des soliveaux parallèles $i i$ liés par des étrépillons ou tampons $u u$.

Les planches du plancher de pied sont assemblées à rainures et languettes, et clouées sur les soliveaux en les croisant à angles droits. Dans la partie supérieure du plan on a indiqué la disposition des planches et leurs coupes d'onglets pour leurs raccordements d'un secteur à l'autre. Les bois sont apparents en dessous.

Nous sommes entré, au sujet du tracé de la charpente de ce plancher, dans des détails qui ne se trouvent point dans les auteurs qui en ont donné des dessins, afin qu'on puisse, au besoin, en construire sur d'autres dimensions, et même sur des polygones d'un plus grand nombre de côtés.

La construction de la charpente d'un plancher polygonal de la seconde espèce est beaucoup plus simple. Nous choisissons pour exemple, fig. 1 et 2, pl. XXXV, celui exécuté au château de la reine Blanche, à Viarmes, dans une salle carrée d'environ 16^m, 25.

La charpente de ce plancher n'est à découvert que dans la partie inférieure de la figure.

Un cours de sablières est scellé dans les murs; des coyers $a b$, $c d$, $e f$,

g h, convertissent le périmètre du plancher en un octogone régulier *a b c d e f g h* formé par les parties des faces intérieures des sablières comprises entre les coyers et les lignes de milieu de ces coyers, disposition adoptée pour la régularité du plancher de pied octogonal, figuré en *A* dans l'angle supérieur à gauche du dessin. Un autre octogone régulier *m n o p q r s t* est tracé de façon que ses angles répondent aux milieux des côtés du premier; dans ce second octogone, un troisième *a' b' c' d' e' f' g' h'* est inscrit; un quatrième *m' n' o' p' q' r' s' t'* est inscrit dans le troisième; un cinquième *a'' b'' c'' d'' e'' f'' g'' h''*, dans le quatrième; un sixième *m'' n'' o'' p'' q'' r'' s'' t''*, dans le cinquième, et ainsi de suite, en faisant toujours répondre les angles du dernier polygone dans les milieux des côtés de celui précédemment tracé. L'inscription des polygones se termine dès qu'il ne reste plus assez de place pour les assemblages. Les épaisseurs verticales des bois sont toutes les mêmes. Les épaisseurs horizontales sont portées en dehors des côtés des polygones; elles décroissent comme les longueurs de ces côtés. Tous les soliveaux sont assemblés à tenons et mortaises; ils sont maintenus en joint par des tampons *x* assemblés très-serrés avec eux à tenons très-courts et mortaises peu profondes.

Les vides entre les coyers et les sablières sont remplis par des empanons *k*. Le vide du milieu du plancher est rempli par une couronne dans laquelle est une enrayure à 16 rayons assemblés à tenons et mortaises dans un poinçon formant cul-de-lampe, et dans la couronne qui est composée de deux épaisseurs de madriers qu'on sépare momentanément pour mettre en joint les rayons.

Cette couronne est représentée isolément, fig. 10, pl. XXXIV, par une projection horizontale, une projection verticale et une coupe suivant la ligne *a b*. Chaque épaisseur formant la moitié de celle de la couronne est composée de quatre jantes assemblées à traits de Jupiter, fig. 15, pl. XIX, comme si elles étaient droites. Les deux épaisseurs sont réunies à plat joint; les assemblages de l'une répondent au milieu des jantes de l'autre; elles sont liées par huit boulons qui les traversent entre les joints (1).

La fig. 2, pl. XXXV, représente en *A* la combinaison des planches qui forment le plancher de pied. En *B* et *C* on a tracé deux autres dessins de

(1) On pourrait aussi les lier par huit grosses chevilles en bois dur et sec, coincées par les deux bouts.

planchers formés par une combinaison de frises z , qui les divise en compartiments carrés remplis par des planches étroites dont les joints sont parallèles à leurs côtés, dans la partie *B* de la figure et en diagonales dans la partie *C*.

Nous avons représenté, fig. 6, pl. LVII, une partie de l'établissement de ce plancher sur l'ételon, toutes les pièces étant sur lignes de niveau et de dévers toutes prêtes à être piquées pour le tracé de tous les assemblages. Nous avons marqué des mêmes lettres les points qui sont les mêmes dans cette figure et dans la fig. 2 de la pl. XXXV. Les soliveaux de ce plancher, par suite du tracé que nous avons expliqué, ne sont point mis sur lignes par leurs axes, mais bien par leurs faces verticales répondant aux côtés des polygones, et les bois sont équarris avec soin. La complication de ce plancher exige, pour sa mise sur ligne, le plus grand ordre, et, vu que trois pièces se trouvent toujours réunies aux points d'assemblage, il a fallu combiner leur établissement sur lignes de la manière la plus simple, et qui évitât la multiplicité des cales. Pour qu'on puisse reconnaître l'ordre suivi dans leur établissement, nous avons inscrit sur les soliveaux qui forment les côtés des polygones, des numéros qui marquent le rang ou plutôt l'étage qu'ils occupent dans l'établissement sur lignes; ainsi, ceux qui sont marqués du n° 1 sont établis les premiers sur des chantiers α posés sur le sol de l'ételon dans la direction des tampons; ceux marqués n° 2 sont établis en dessous des n° 1 et portent sur eux, et ceux marqués du n° 3 posent sur ceux n° 2. Comme on suppose que les bois sont équarris et refaits avec soin et exactitude, il ne faut que des petits coins pour mettre et maintenir parfaitement de niveau et de dévers. Ces coins ne sont nécessaires qu'accidentellement, et ne sont point marqués sur la figure. Les soliveaux ainsi établis, il est aisé de piquer les assemblages et de marquer les bois de la charpente du plancher.

La courbe circulaire, ou couronne, qui doit occuper le milieu de la charpente est aussi établie sur l'ételon, mais après que les jantes qui la composent ont été assemblées et que les faces sont coupées, arrondies et polies avec précision.

Chaque jante, ou courbe partielle d'une demi-épaisseur de la couronne, est débitée un peu plus large qu'il ne la faut, dans un madrier ou plateau, fig. 8, pl. LVII, sur lequel on l'a tracée au moyen d'un calibre, fig. 7, même planche. Les quatre pièces qui doivent composer une des demi-épaisseurs sont représentées, fig. 9, en projection horizontale, établies de niveau et de dévers sur un ételon tracé à part; deux d'entre elles a, a , sont por-

tées par deux chantiers *m, m*, posés sur le sol; elles sont mises sur lignes par les traits ramenerets; entre ces deux courbes un troisième chantier *p* posé sur les deux premiers et sur deux autres plus courts *o, o*, sert à soutenir les courbes *b, b*, dont les bouts posent sur les courbes *a, a*, et les croissent assez pour qu'on puisse piquer les traits de Jupiter de leurs assemblages. Lorsque les deux épaisseurs sont assemblées, qu'on a dressé leurs faces planes et qu'on les a réunies et boulonnées, on trace sur ces faces planes les cercles qui doivent être les arêtes de la couronne, et l'on arrondit ses surfaces courbes.

Pour mettre en joint les tenons des rayons de l'enrayure qui remplit la couronne, on sépare momentanément ses deux épaisseurs.

§ 8. *Planchers à enrayures.*

Les planchers à enrayures sont formés de solives disposées en rayons, dont un petit nombre se réunissent au centre, soit en se croisant à mi-bois, soit en s'assemblant dans un poinçon; les autres solives étant soutenues entre les premières par des goussets qui forment autour du centre divers polygones, dont le nombre des côtés augmente à mesure que la divergence des rayons exige l'interposition de nouvelles solives. Nous trouverons des exemples des charpentes de ces sortes de planchers lorsque nous traiterons des enrayures des combles et des dômes. Nous nous bornerons, pour le moment, à la description de deux planchers, remarquables par leur élégance, exécutés dans les châteaux de la reine Blanche, l'un à Moret, l'autre à Viarmes. Les deux moitiés de la fig. 4, pl. XXXV, représentent les plans des charpentes et des planchers de pied de ces deux planchers. La fig. 3 comprend leur coupe suivant la ligne *D E* du plan. Les parties à gauche dans ces deux figures se rapportent au plancher du château de Moret. Il est construit dans une tour octogonale; le haut du plan est le détail d'un quart de la charpente en enrayure, composée de huit solives *a* ayant la forme d'arcs, scellées chacune par un bout dans un angle de la tour, et assemblées de l'autre dans une couronne formée de deux épaisseurs de madriers. Chaque solive *a* est composée de deux pièces de bois jointes l'une sur l'autre, à crans et boulonnées. La pièce inférieure est profilée en dessous en arc de cercle et ornée de deux moulures dont la rencontre forme une arête ou nervure, suivant le goût de l'époque. L'intérieur de la couronne est rempli de soliveaux arqués en dessous *d*, qui la fortifient et qui s'assemblent d'un bout dans ses parois intérieures, et de l'autre bout

dans un poinçon *e*. Les huit solives portent les soliveaux *c* parallèles aux murs de la tour; ces soliveaux forment huit octogones concentriques sur lesquels on a cloué les planches du plancher de pied *i* figuré dans la partie inférieure du plan. Le dessous des soliveaux est *tillé* entre les solives cintrées. Sa couronne et les huit petits soliveaux qu'elle renferme sont à découvert et forment un cul-de-lampe central. La fig. 5 est une coupe, par un plan vertical, suivant la ligne *m n* du plan, et dont la trace sur le plan vertical de la coupe, fig. 3, est la ligne *m' p*.

La partie de la fig. 4 qui est à droite est le plan de la charpente et du plancher de pied du château de Viarmes. Ce plancher est construit dans une salle ronde; il est soutenu par trente-deux fermes, composées chacune d'une solive horizontale *o* et d'un arc *k*. Ces petites fermes s'assemblent d'un bout dans les poteaux *h* scellés dans le mur circulaire de la tour et assemblés dans une sablière *g*; les fermes sont assemblées par l'autre bout dans une couronne *j* formant le milieu du plancher; elle contient une enrayure de huit soliveaux *l* qui se réunissent, comme dans le plancher précédent, en s'assemblant dans un bouton *s* pour former cul-de-lampe. Les trente-deux fermes portent les soliveaux *r* distribués en huit octogones concentriques et équidistants, sur lesquels sont clouées les planches du plancher de pied *t*. Le dessous des soliveaux est plafonné en planches.

La fig. 6 est un développement de la muraille pour montrer la distribution des poteaux qui reçoivent les assemblages des fermes, les petits panneaux *q* qui les séparent et la sablière *g*.

§ 9. Planchers portés par des soutiens isolés.

Lorsque des planchers doivent former le sol d'une très-grande salle, en outre des moyens que nous avons décrits pour remédier à l'insuffisance des dimensions des bois disponibles pour leur construction, on peut distribuer avec symétrie, dans les espaces sur lesquels ces planchers doivent s'étendre, des soutiens isolés en maçonnerie ou en bois, et les faire servir à la décoration intérieure des édifices en leur donnant quelques-unes des formes dont l'architecture fait usage; ou l'on dispose, sous ces planchers, des assemblages en charpente qui imitent la combure des voûtes en maçonnerie; ou bien, enfin, on compose des poutres de plusieurs pièces, tellement assemblées et agrafées les unes aux autres, qu'elles équivalent à peu de chose près à des poutres d'égales portées qui seraient d'un seul

morceau avec un équarrissage suffisant. Nous ne nous occuperons, dans ce paragraphe, que des planchers qui s'appuient sur des soutiens inférieurs.

Si, par exemple, la salle formée par les murailles, dont le plan est représenté fig. 3, pl. XXXIII, était d'une étendue telle que les bois dont on pourrait disposer ne seraient point assez longs ni assez forts pour construire un plancher à la Serlio, comme celui que représente cette figure et qu'on pût disposer, en dessous du plancher, sans inconvénient pour les étages inférieurs, des soutiens appuyés sur les fondations, on établirait quatre piliers en pierre ou en bois, également écartés entre eux et des murailles (1). Sur les sommets de ces quatre piliers, que nous avons ponctués sur la figure, on ferait porter les bouts des huit solives qui, de leurs autres bouts, seraient scellées dans les murs aux points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, et quatre pièces porteraient sur les seuls piliers; les neuf carrés formés par ces douze solives seraient remplis par des soliveaux comme les compartiments de la même fig. 3.

Les fig. 9, 10, 12, de la même planche sont relatives à des planches de la même espèce pour lesquelles on a eu recours à des moyens plus compliqués, en même temps qu'ils ont satisfait à des combinaisons élégantes de décoration.

La fig. 10 est le plan de la salle centrale de l'aile du sud du Louvre; la fig. 9 est une coupe de cette salle sur une échelle double, suivant la ligne *AB* du plan. Elle montre comment les pilastres, les colonnes et les architraves qui entrent dans la décoration de cette salle, se trouvent employés à soutenir le plancher *m / s n* qui est, par ce moyen, divisé en plusieurs parties, dont la plus grande se trouve soutenue par des assemblages en forme de voûtes. Le plafonnage de toutes les surfaces inférieures donne à toute cette charpente l'apparence d'une construction en pierre. On voit, par cet exemple, comment on peut faire tourner au profit de la solidité des travaux en bois l'imitation des formes qui appartiennent aux bâtisses en maçonnerie.

La fig. 12 est une coupe faite par un plan vertical perpendiculaire aux murailles, dans une des salles carrées adossées à la colonnade du Louvre. Cette figure a pour objet de faire voir comment, au moyen d'une grande gorge *p q* figurant une voussure en pierre régnant sur le pourtour de la

(1) On pourrait aussi, suivant l'étendue du plancher, n'établir qu'un seul pilier dans le milieu.

salle, on a soulagé la grande portée d'un plancher xy . Au-dessous de la partie qui est la projection de la voussure vue en face, on a représenté les bois d'une cloison en pan de bois qui limite la longueur de la salle, et soutient une des maîtresses poutres.

§ 10. *Poutres armées de fourvures superposées.*

Lorsqu'une pièce de bois posée horizontalement est chargée, celles de ses fibres qui occupent la partie inférieure de son épaisseur éprouvent une forte traction suivant leur longueur, tandis que celles qui sont situées dans sa partie supérieure sont soumises à un effort de contraction également suivant leur longueur mais dans un sens opposé. Dès que la charge excède la limite du poids qu'une pièce peut porter, les fibres inférieures se rompent et se séparent par faisceaux, celles du dessous sont pliées et refoulées, et la rupture de la pièce est d'autant plus prompte que les fibres supérieures cèdent plus aisément à la contraction par l'effet de leur faible cohésion entre elles.

La fig. 10, pl. XXXVII, est une poutre dans le dessus de laquelle on a ouvert jusqu'à un tiers environ de son épaisseur un trait de scie dans son milieu, ou trois traits de scie espacés de manière à diviser sa longueur en quatre parties égales. Des coins de bois dur ou de métal ont été chassés avec force dans ces ouvertures, jusqu'à donner à la pièce une courbure concave en dessous. Soit qu'on ait fait un seul trait de scie, soit qu'on en ait fait plusieurs, l'expérience a prouvé que la force de la pièce était augmentée.

Des liens ou des boulons, ponctués dans la figure, ajoutent à la force produite par les coins en maintenant les fibres serrées dans le sens de leur cohésion mutuelle. Ce procédé, qui est conforme à ce que la rupture des bois avait déjà appris, n'est pas d'une application prudente, par rapport à la durée des poutres, vu que la vétusté fait décroître la force d'une pièce de bois dont l'épaisseur réelle est ainsi réduite par la section d'une partie de ses fibres, plus rapidement que celle d'une autre pièce dont toute l'épaisseur est restée intacte. C'est néanmoins sur l'efficacité de cet appareil et les expériences qu'on a faites directement et sur lesquelles nous reviendrons dans le chapitre relatif à la force des bois, que sont basées les méthodes qu'on a imaginées pour augmenter la résistance des pièces de bois employées comme poutres dans tous les genres de charpenterie. Nous distin-

guérons ces méthodes en trois espèces : 1° celle de l'armature des poutres par superposition de fourrures, elle fera l'objet du présent paragraphe; 2° celle de l'armature des poutres par l'addition de fourrures latérales; 3° celle par laquelle on supplée la longueur et l'équarrissage des poutres par divers assemblages.

La fig. 8, pl. XXXVII, présente la projection verticale d'une poutre *d* garnie en dessus de deux fourrures formant arbalétriers *e, e*, qui s'arc-boutent réciproquement. Pour empêcher que leurs fibres se refoulent et se pénètrent mutuellement, on interpose entre leurs abouts un coin de bois dur ou de métal qu'on chasse avec force et qui fait serrer les embrèvements d'assemblage de ces deux fourrures avec la mèche, en même temps qu'il produit le même effet que le coin du milieu de la fig. 10.

Les fourrures *e, e*, sont liées à la mèche *d* par des armatures de fer consistant en liens avec brides à vis et écrous, et en boulons qui fixent ces liens à la mèche, après qu'ils ont été fortement serrés. Les fourrures *e, e*, pourraient être appliquées à plat à la pièce *d* dans des entailles droites, l'une desquelles est marquée par la ligne *x y*; mais cet assemblage aurait entre autres défauts celui de trop réduire l'épaisseur de la poutre dans ses portées.

La fig. 9 est la projection verticale d'une poutre *a* garnie en dessus de trois fourrures *b, c, b*; celle du milieu est arc-boutée par les deux autres jointes à la pièce principale ou mèche par deux embrèvements. Ces trois fourrures sont serrées par trois boulons dont deux répondent aux embrèvements pour en assurer l'effet et par quatre frettes en fer. En épaississant la poutre *a* par le moyen de la pièce *c*, on augmente sa force, puisque l'on exhausse et reporte dans cette fourrure *c* la résistance et la contraction des fibres.

L'armature représentée par la fig. 11 est une des meilleures, en ce que les pièces naturellement courbes qu'on y a employées, tant pour la mèche *a* que pour les fourrures *b*, ne sont diminuées dans leurs épaisseurs que juste de ce qu'il faut pour faire les endents apparents en crémaillères, qui forment leurs assemblages. Cette armature est serrée par des boulons qui assurent l'effet des endents. Deux bandes de fer croisent le joint.

La fig. 5, pl. XXXIX, est une application de l'assemblage que nous venons de décrire à la construction d'une poutre composée de deux pièces droites *m, n*, superposées pour obtenir une plus grande épaisseur, et par conséquent plus de force. Les deux pièces sont assujetties par un double rang de boulons et les endents sont serrés par des coins doubles chassés l'un vers

l'autre en sens contraire. Sur la droite, cette poutre est représentée vue par le bout.

La fig. 6 est une autre application du même assemblage à la réunion de trois pièces entières, par endents apparents, pour former une poutre qui peut acquérir par ce moyen autant de force que si elle était d'un seul morceau.

Les endents des assemblages des poutres sont toujours tracés en sens contraires symétriquement des deux côtés du milieu de la longueur de la mèche. Ils sont disposés de façon que la flexion de la poutre tend à serrer les abouts de la face inférieure de la pièce *a* contre ceux de la face supérieure de la pièce *b*, et les abouts de la face inférieure de cette pièce contre ceux de la face supérieure de la pièce *c*, en sorte que si les endents sont taillés avec précision et très-serrés dans leur mise en joint, ils s'opposent fortement à la courbure que la poutre pourrait prendre par l'effet de la charge qu'elle aurait à supporter.

La fig. 14 présente trois pièces superposées, jointes par le moyen d'endents apparents carrés. Ces endents sont employés de préférence à ceux en crémaillère, lorsqu'il s'agit de s'opposer à des oscillations qui tendraient à faire prendre à une poutre cintrée une moindre courbure, ou à une poutre droite une courbure convexe, tantôt en dessus, tantôt en dessous; ils exigent la même précision que ceux en crémaillères, et, pour que la pression de leurs abouts soit plus forte dans leur mise en joint, on doit les incliner tant soit peu, comme nous l'avons indiqué, fig. 17, dans l'assemblage des pièces *m*, *n*; il en résulte aussi l'avantage que les fibres du bois sont moins sujettes à se refouler par l'effet de la pression des abouts.

Quelques charpentiers tracent les entailures en combinant les deux systèmes d'endents, fig. 13, pl. XXXVII, pour composer la poutre *a*; mais cette méthode complique le tracé sans accroître sensiblement la force; elle augmente beaucoup la difficulté de l'exécution, et diminue la solidité des endents, parce que les fibres sont tranchées deux fois entre les abouts.

Dans la fig. 15, pl. XXXIX, la mèche *a* droite est fortifiée par une fourrure *b* taillée dans une pièce naturellement cintrée. Le joint est fait par entailures à crémaillère; les deux pièces étant fortement rapprochées par un double rang de boulons, des coins de bois dur sont chassés à coups de masse dans les vides qu'on a laissés pour les recevoir entre les abouts des endents, afin qu'ils soient tous fortement serrés; ce qu'on ne pourrait pas obtenir aussi bien, quelle que fût la précision avec laquelle on prétendrait tailler les entailures.

La fig. 16 représente la projection verticale d'une poutre droite *m* armée en dessous d'une fourrure *n* prise dans une pièce de bois cintrée naturellement, amollie à la vapeur et redressée de force en la mettant en joint dans des endentures préparées d'avance et coincées fortement après que la fourrure a été serrée par deux rangs de boulons et refroidie.

Des lignes ponctuées représentent la pièce cintrée *n* au moment où, sortant de l'étuve à vapeur, elle va être redressée et mise en joint.

En redressant la fourrure *n* on augmente la raideur de la poutre, qui tendra à s'arquer plutôt qu'à fléchir, par l'effet de la propulsion de sa fourrure à reprendre sa courbure primitive. Le contraire aurait lieu pour la poutre *a*, fig. 15, si la fourrure *b* était prise dans une pièce droite qu'on aurait arquée de force pour la mettre en joint. Il faut, pour que cette fourrure remplisse son objet, qu'elle soit taillée dans une pièce cintrée naturellement et même plus courbe qu'il ne le faudrait, dût-on la forcer à se redresser par la mise en joint.

Dans la fig. 7, les fourrures *p*, *p*, paraissent établies dans l'intention de les faire fonctionner par rapport à la pièce *n* comme celles *c* par rapport à la pièce *d* de la fig. 8, pl. XXXVII. Elles s'aboutent au milieu de la longueur de la poutre par l'intermédiaire d'un coin; elles sont serrées par des boulons et des liens en fer; mais nous ferons remarquer, à l'égard des crans distribués le long des joints, que malgré les coins qu'on suppose y avoir été introduits pour les serrer, à l'exception du premier *x* de chaque bout, aucun ne remplit le but, vu que la courbure que la charge peut faire prendre à la mèche tend à desserrer les abouts, d'où il suit que les endentures sont en sens inverse de celui qu'elles devraient avoir. Quant à l'effet que les fourrures *p*, *p*, doivent remplir comme décharges, on voit ou qu'on n'en a pas tiré le parti qu'on pourrait en obtenir, puisqu'elles s'aboutent au milieu de la poutre sur une hauteur bien moindre que leur épaisseur vers les points *x*, *x*, ou qu'on y a employé des pièces trop fortes et qu'on a perdu du bois.

La fig. 8 présente une armature vicieuse, bien qu'elle se trouve dans quelques auteurs. Elle est vicieuse en ce qu'elle est d'une exécution extrêmement difficile, qu'il faut faire entrer les endentures de côté, et surtout parce que les endents formés d'angles aussi aigus, et dans lesquels les fibres du bois sont coupées deux fois dans le même sens, n'ont aucune solidité.

La fig. 9 présente également un mauvais moyen pour réunir deux pièces de bois; les clefs en double queue d'hironde *z*, destinées à maintenir les

pièces x et y serrées l'une contre l'autre, se fondent aisément en deux morceaux suivant le fil du bois dont elles sont faites, qui est perpendiculaire à celui des pièces; la séparation a lieu à la jonction des queues, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, p. 280, au sujet d'une ente, fig. 17, pl. XX. Si, au lieu de faire les doubles queues d'hironde en bois, on les fait en métal, ce sont alors les entailles des pièces de bois qui éclatent. Nous n'avons donné ces trois figures, que pour prémunir contre l'usage des moyens qu'elles indiquent.

La fig. 4, pl. XXXVII, est la projection verticale d'une poutre composée de deux pièces a , b , posées l'une sur l'autre, serrées par des boulons et entre lesquelles les endentures que nous avons précédemment décrites sont remplacées par des tasseaux d ponctués, encastrés par moitié diagonalement et formant de chaque côté autant de décharges qui s'opposent au glissement d'une pièce sur l'autre lorsque la charge qu'elles doivent supporter tend à les faire plier. Ces tasseaux sont carrés, leur équarrissage est égal au tiers de la largeur horizontale des pièces, leur raideur parfaite résulte de ce qu'ils sont entrés de force dans leurs encastremens. On en voit un par le bout dans la coupe fig. 5, prise suivant la ligne OP de la fig. 4. Cette disposition a sur les endentures cet avantage que tous les efforts se font à bois debout aussi bien dans les entailles que sur les extrémités des tasseaux, qui doivent d'ailleurs être taillés avec une grande précision, et dont les longueurs doivent être telles, que les pièces ne puissent venir à joint qu'à coups de masse et par l'effet des boulons.

Lorsque des poutres sont cintrées comme celles a , fig. 13, pl. XXXVII, on ajoute des fourrures volantes z au-dessus de chaque bout, uniquement pour soutenir les solives b au même niveau. Ces fourrures volantes occupent le milieu de l'épaisseur horizontale de la poutre entre les deux rangs de boulons.

On peut aussi placer de chaque côté des lambourdes x , boulonnées à la poutre a , qui portent sur des feuillures et qui soutiennent les solives d à un même niveau. Cette disposition élève moins le plancher, ce qui est souvent préférable quand on manque de hauteur dans une bâtisse.

Ce qui précède complète, comme nous l'avons annoncé page 295, ce que nous avons à dire sur les assemblages par endentures. La description des endents apparents nous a paru ne pouvoir être faite plus utilement que dans le paragraphe qui devait avoir pour objet leur application à la construction des poutres.

§ 11. Poutres armées de fourrures latérales.

La fig. 1, pl. XXXVII, est une projection verticale; la fig. 2, une projection horizontale, et la fig. 3 une coupe suivant la ligne MN d'une poutre formée d'une mèche a et de deux fourrures b , qui lui sont ajoutées latéralement. Les joints entre ces trois pièces sont taillés en endentures symétriques des deux côtés de la mèche et sont inclinés dans le sens de sa hauteur, comme les plans de joint des voussoirs d'une voûte en plate-bande. Le but de cette méthode d'armature est d'opposer la raideur des deux fourrures à la courbure que pourrait prendre la mèche par l'effet de la charge du plancher qu'elle aurait à supporter; et dans ce cas les solives du plancher doivent porter entièrement sur la mèche. Il est bon de tenir, à cet effet, cette mèche a un peu plus élevée que ses fourrures b , ce qui dépend de la coupe des endentures. Si les solives, au lieu de porter sur la mèche, ne portaient que sur les fourrures, il est évident que la mèche ne porterait rien, puisque les joints en coupe au lieu de se serrer se desserreraient et la poutre n'aurait pas la force qu'on aurait cru lui donner. Lorsqu'on veut que les solives portent sur les fourrures, ou qu'on veut les y assembler latéralement, comme dans des lambourdes, il faut que les endentures en coupe soient taillées en sens contraire, dans la projection horizontale, afin que les efforts supportés par les fourrures soient partagés par la mèche.

La fig. 9, pl. XXXVIII, est une projection verticale; la fig. 10, une projection horizontale, la fig. 11 une coupe suivant la ligne AB d'une poutre armée des deux parties jumelles a, a , d'une pièce de bois fendue à la scie, entre lesquelles deux arbalétriers b, c, b, c , sont assemblés latéralement à rainures et languettes, ayant pour appui aux deux bouts, de la poutre des coussinets d, d , assemblés à tenons courts, mortaises et embrèvements dans les joues des jumelles et boulonnés. Les deux arbalétriers aboutent au milieu dans un poinçon retenu entre les jumelles par une coupe en queue d'hironde et serré par deux boulons. Les deux jumelles font l'office de tirants dont la majeure partie des fibres résistent à la traction, tandis que la résistance à la contraction est reportée sur le haut du poinçon par les arbalétriers qui servent ainsi de décharge, qui reportent leurs poussées sur les coussinets d et qui soutiennent d'ailleurs les jumelles par leur assemblage à rainure et languette. Les jumelles sont serrées contre les arbalétriers par des boulons.

La fig. 12 est une coupe de la même poutre, sur laquelle on a marqué les solives *m, m*, qui doivent porter le plancher de pied, et les bouts des soliveaux *n, n*, destinés à porter le plafond. M. Constant d'Yvry a employé, aux travaux du Palais-Royal, et M. Fontaine, à ceux du vieux Louvre, des poutres armées de ce genre.

§ 12. Poutres d'assemblage.

Lorsque les bois n'ont pas assez de longueur pour atteindre les deux murs qui doivent soutenir les poutres d'un plancher qu'on veut cependant établir d'une seule portée, on construit des poutres d'assemblage.

Deux pièces jointes et enlignées bout à bout au moyen de l'une des entres horizontales que nous avons décrites au paragraphe 4 du chap. VIII, page 277, peuvent former une poutre; néanmoins ces entes n'ont en général de force qu'en tirant, et il ne serait pas prudent de leur faire supporter l'effort produit par le poids d'un plancher de sa charge, sans les fortifier par quelques pièces auxiliaires, ou leur procurer quelque point d'appui. Nous avons parlé des soutiens qu'on peut établir en dessous des planchers; nous trouverons des exemples de ceux qu'on peut tirer par suspension des parties de la charpente supérieure dans les constructions des combles.

En combinant les entes avec les divers assemblages d'armatures que nous avons décrits dans les paragraphes précédents, on compose des poutres dont la portée peut être, sinon sans limite, au moins d'une très-grande étendue. La fig. 6, pl. XXXVII, est un exemple des plus simples de ce genre de construction, pour une poutre d'environ 10 mètres de portée; la fig. 7 est une coupe par un plan vertical perpendiculaire à la longueur de la poutre qui a, sur la fig. 6, la ligne *QR* pour trace. La partie principale de cette poutre, ou sa mèche *a*, est composée de deux pièces, de même équarrissage et de longueurs égales, entées sur le milieu de la portée de la poutre par un trait de Jupiter qui a pour objet de résister à l'effort de traction que les fibres peuvent éprouver par l'effet de la courbure que le poids du plancher et de ce qu'il aura à supporter doit lui faire prendre. Quelque bien exécuté que soit le trait de Jupiter, il réduit tellement le nombre des fibres à l'endroit des joints, que la résistance à l'effort de traction ne peut pas être évaluée à moitié de celle que présenterait une pièce d'un seul morceau. Pour restituer à la mèche la force qui est détruite par l'effet du joint, on ajoute en dessous une pièce de bois *b* qui est assemblée de chaque côté par des endents serrés avec des coins en bois

dur *e*. Cette pièce, en agrafant les deux pièces *a*, est chargée de la résistance à la majeure partie de l'effort de traction, et, par conséquent, elle soulage l'assemblage à trait de Jupiter. Au-dessus de la mèche *a a*, trois pièces *d, d, d*, également entées à trait de Jupiter, forment une fourrure supérieure qui lui est jointe par des endents serrés avec des coins *e*. Cette fourrure a pour objet de résister à l'effort de contraction qui est exercé sur les fibres supérieures de la poutre. Les pièces qui la composent se joindraient à plat joint qu'elles ne rempliraient pas moins bien leur office. Les traits de Jupiter n'ont ici l'avantage que de lier ces trois parties de la fourrure pour résister aux oscillations verticales que diverses causes, telles que de violentes secousses, peuvent imprimer à la poutre par l'effet de l'élasticité du poids. La mèche, la fourrure et le renfort sont serrés par deux rangs de boulons verticaux.

Plancher de l'hôtel de ville d'Amsterdam. — La fig. 1, pl. XXXVIII, est une projection verticale d'une des poutres du plancher de la grande salle de l'hôtel de ville d'Amsterdam; la fig. 2 est une projection horizontale et la fig. 3, une coupe par un plan vertical perpendiculaire aux deux premières projections, suivant la ligne *M N*. Cette poutre, composée de quatre poutres partielles *m*, formées chacune de deux pièces entées à queue d'hironde. Ces quatre poutres partielles sont réunies et serrées par deux rangs des boulons verticaux et deux rangs de boulons horizontaux, qui les traversent perpendiculairement; les joints verticaux sont coupés en ententes dirigées comme les plans de joint des voussoirs d'une plate-bande en pierre. Les queues d'hironde sont distribuées symétriquement entre les quatre poutres partielles, de façon que chacune des deux pièces qui composent la mèche se trouve formée d'une pièce dont la longueur est des deux tiers de la portée du plancher, et d'une pièce dont la longueur n'est que le tiers. Les poutrelles qui forment la fourrure sont à peu près égales en longueur à la largeur du plancher, si bien qu'il ne se trouve pas deux assemblages se correspondant à aucun point de la longueur totale de la poutre.

Les quatre poutres partielles, serrées comme nous venons de le dire, renferment entre elles quatre soliveaux *o*, deux de chaque bout, à partir du milieu de leur longueur. Ces soliveaux sont entièrement encastés par moitié de chaque côté dans les épaisseur et largeur des poutres, et posés en décharge; deux d'entre eux s'aboutent réciproquement au milieu de la longueur de la poutre. On en voit un par le bout dans la coupe fig. 3.

Les queues d'hironde qui forment les entes de la mèche, c'est-à-dire des

deux poutres partielles inférieures, n'ont à résister qu'à un faible effort de traction, vu qu'elles ne sont point au milieu de la longueur de la poutre où est le *maximum* de cet effort; en second lieu, parce qu'elles sont consolidées en dessous par des bandes de fer prises par les boulons, et enfin parce que chaque joint à queue d'hironde n'occupe que la moitié de l'épaisseur horizontale de la poutre. Nous avons fait remarquer ci-dessus que les jonctions supérieures n'ont à résister qu'à l'effort de compression, et qu'au lieu d'entes, des joints à plat suffiraient.

La fig. 4 est une coupe dans le même sens et dans le même emplacement que celle de la fig. 3, sur laquelle on a ajouté les coupes des lambourdes r, r , qui portent les solives du plancher, afin qu'il occupe moins d'épaisseur. Nous n'avons marqué aucun serrement pour fixer ces lambourdes à la poutre, parce qu'il ne s'agit ici que de montrer leur position, qui est la même que dans la coupe fig. 14, pl. XXXII.

La fig. 5, pl. XXXVIII, est une projection verticale, et la fig. 7, une projection horizontale d'une des poutres de la grande salle de l'hôtel de ville de Maestricht; la fig. 7 est une coupe verticale perpendiculaire suivant la même ligne $M N$.

Le système d'assemblage est à peu près le même que celui de la poutre d'Amsterdam, sinon que les pièces qui composent la fourrure $p p$ sont enlignées à plat joint en x au lieu d'être assemblées par des queues d'hironde inutiles, et qu'il n'y a de chaque côté qu'un seul arbalétrier q en décharge, encastré dans les poutres partielles, et assemblé en dessus et en dessous par de fortes entailles qui multiplient ses points d'appui.

La fig. 8, comme la fig. 4, montre la position des lambourdes z ayant pour objet de porter les solives qui augmenteraient l'épaisseur du plancher, si elles étaient posées au-dessus des poutres.

§ 13. *Formes pour remplacer les poutres.*

Les armatures sont quelquefois établies fort au-dessus des poutres, et composent avec elles des espèces de fermes. Cette méthode est suivie lorsque l'objet principal des charpentes des planchers est de supporter des plafonds ou des soffites; les armatures se trouvent sous les combles dans des greniers qui ne doivent pas être fréquentés. La fig. 13, pl. XXXIII, est une armature de ce genre employée par M. Fontaine pour les poutres qui soutiennent le plafond de la salle dite de l'Institut, au Louvre. a est la poutre; b, b sont deux arbalétriers formant décharges, aboutant par le bas dans

des racinaux *cc* qui les moisent et qui sont joints et boulonnés à la poutre; les arbalétriers soutiennent par le haut deux poinçons *d* contre lesquels ils s'aboutent, et qui sont liés par une lisse horizontale *e* pour maintenir leur écartement et résister à l'effort de contraction. Les deux poinçons sont maintenus verticaux et fixés à la poutre qui s'y trouve comme suspendue par des étriers *f* en fer. *g* est une des lambourdes attachées à la poutre et dans lesquelles sont assemblées les soliveaux *h* qui portent le plafond *ii*.

On peut aussi établir des planchers d'une grande portée sur de véritables fermes dont on réduit le plus possible la hauteur; la planche XXXIX en présente un exemple. La fig. 1 est la projection verticale, la fig. 2 la projection horizontale, la fig. 3 une coupe par un plan vertical perpendiculaire aux deux premières projections suivant la ligne *MP*, et la fig. 4 une autre coupe parallèle à la précédente par un autre plan vertical suivant la ligne *NQ*.

Cette ferme se compose : 1° d'un tirant *a*, allongé à chaque bout par des moises *b, b*, qui l'embrassent, s'assemblent avec lui par des entailles, le serrent au moyen de boulons, et portent sur les murs; 2° d'un sommier *c*, parallèle au tirant, et qui peut être de plusieurs morceaux entés comme en *x*; d'une suite de potelets *d, e, f, g, h*, verticaux et également espacés, assemblés par le haut dans le sommier à tenons et mortaises, et par le bas dans le tirant *a* aussi à tenons et mortaises, ou pris à queue d'hironde entre les moises *b*; 4° de deux couples de moises *i, i*, formant arbalétriers, qui embrassent les poteaux *f, g, h* par entailles, s'assemblent vers le bas par embrèvement dans les moises horizontales *b, b*, et à tenons et mortaises dans les potelets jointifs *c, d, e*; par le haut ils s'assemblent à embrèvements au milieu de la ferme, dans les moises *K, K*, qui forment poinçon et embrassent en même temps le tirant *a* et le sommier *c*. Les arbalétriers *i, i* ne sont marqués au plan, en projection horizontale, que par des lignes ponctuées; on suppose que cette projection résulte d'une coupe faite dans la ferme par un plan horizontal à la hauteur de la ligne *RS*, et que les moises *i* sont ôtées. Tous les assemblages sont serrés par des boulons; ceux des poteaux *h*, avec le tirant et avec le sommier, sont tenus en joints et serrés par des boulons verticaux qui les traversent dans toute leur hauteur. Les assemblages des poteaux *f, g*, avec le sommier, sont serrés par des boulons plus courts, à vis et écrous par les deux bouts (1); le tirant,

(1) Voy. le chapitre de l'emploi du fer dans les charpentes.

ou entrain *a*, est assemblé par chaque bout à tenons et mortaises dans les potelets *g*, et serré en joint par un boulon, aussi à vis et écrous par les deux bouts. Des bandes de fer, conjointement avec des boulons, consolident l'assemblage du tirant *a* et des moises *b*, *b*; des jambettes *m*, *m*, *m*, arc-boutent les poteaux *f*, *f*, et les maintiennent verticaux. Ce système de poutre présente une grande force, puisque l'effort qui tend à le faire fléchir est reporté par les arbalétriers sur les extrémités des moises qui forment avec la pièce *a* un entrain qui ne peut s'allonger s'il a un équarrissage suffisant pour résister à la traction, dont la force est diminuée par la hauteur du poinçon.

Les fermes, formant poutres de cette sorte, pourraient être cachées par un plafond dont les soliveaux s'assembleraient dans de légères lambourdes boulonnées à l'entrain *a* et aux moises *b*, et effleuraient en dessous les mêmes pièces, comme nous en avons ponctué quelques-uns vus par leurs bouts en *z*. Nous avons également ponctué en *y* quelques solives vues par leurs bouts et portées sur le sommier *c*.

§ 14. Planchers en solives jointives.

On fait des planchers en solives jointives lorsque les efforts auxquels ils doivent résister l'exigent. Afin de rendre les solives solidaires, et par conséquent augmenter la force de chacune, pour le cas où elle aurait à résister isolément, on les joint à rainures et languettes, comme les pièces *C*¹, *C*¹, ou *C*², *C*², fig. 1, pl. XXI, ou par le moyen de goujons en fer ou en bois, comme celui *a* qui réunit les pièces *A*, *C*, fig. 2, même planche.

Les solives jointives portent par leurs bouts dans les murs et pans de bois, ou sur des poutres, comme les autres solives; elles peuvent être recouvertes d'un plancher de pied, assemblé et cloué comme ceux que nous avons précédemment décrits; leurs faces de parement supérieur peuvent former aussi le plancher de pied, surtout lorsqu'elles sont jointes à rainures et languettes; mais il en résulte qu'elles sont dans le cas d'être détériorées.

La construction de cette sorte de plancher est si simple qu'il nous a paru inutile d'en donner une figure; celles relatives aux assemblages des bois en long, pl. XXI, sont d'ailleurs suffisantes.

On construit rarement des planchers en solives jointives, si ce n'est dans l'art militaire pour des blindages, composés de deux ou trois planchers

de cette sorte, superposés afin de former des abris à l'épreuve de la chute des bombes.

§ 15. *Planchers sans solives.*

Ce plancher, dont le dessin est tiré du premier recueil de Krafft, a été exécuté à Amsterdam, dans un atelier de décors; il est carré, son côté a 19^m,50 de longueur. Notre fig. 3, pl. XXXVI, est le plan d'une moitié d'un plancher construit suivant le même système, dans une salle carrée qui n'aurait que 7^m,80 de côté. La fig. 4 est une coupe par un plan vertical suivant la ligne *AB* du plan.

Ce plancher est formé de trois épaisseurs de planches de sapin de 0^m,041, qui sont assemblées dans chaque épaisseur à rainures et languettes et qui se croisent d'une épaisseur à l'autre; dans les deux premières épaisseurs *a*, *b*, elles sont dirigées comme les diagonales de la salle, dans la troisième *c*, qui forme le plancher de pied, elles sont parallèles à l'un des murs. Les planches de la seconde épaisseur sont clouées sur celles de la première; les clous sont distribués à raison de deux par chacun des petits carrés formés par les projections des joints des planches qui se croisent; ils sont placés dans les angles opposés, répondant aux diagonales parallèles aux planches de la troisième épaisseur; les clous qui attachent cette troisième épaisseur sur les deux premières, sont placés sur les autres diagonales des mêmes carrés, perpendiculaires aux premières, de façon que les clous qui unissent deux épaisseurs ne peuvent pas être rencontrés par ceux qui attachent la troisième. Les planches des trois épaisseurs, qui sont chacune d'une seule pièce, d'un mur à l'autre (1), sont toutes clouées dans les quatre feuillures de 0^m,122, creusées en ligne droite dans les quatre côtés d'un cours de lambourdes, *d d d*, qui forme l'encadrement du plancher, et qui est porté par une retraite des murs. On a donné au plancher un bombement d'une ligne par pied (2 millim. par 0^m,325), ce qui répond à une flèche de 0^m,068. La surface, soit du dessous soit du dessus de ce plancher, est du même genre que celle du dessous du plancher de la maison de bois, fig. 5, pl. XXXIII, décrit chap. XI, 5°.

(1) Les planches posées sur les diagonales, dans les deux premières épaisseurs du plancher d'Amsterdam, ont 85 pieds de longueur; elles sont les plus longues.

Rondelet dit que la construction de ce plancher prouve combien les planches, clouées en travers sur les solives, contribuent à la solidité des planchers (1) : nous ne saurions admettre cette opinion. Les planches clouées sur les solives d'un plancher ordinaire ne font que répartir à plusieurs de ces solives le poids dont un point du plancher peut être chargé.

Le plancher sans solives d'Amsterdam tire sa solidité de sa courbure; il forme une véritable voûte, très-aplatie, qui ne pourrait tomber qu'en se déchirant, vu l'espèce de cohésion entre des surfaces non développables, produite par les clous qui attachent les planches les unes sur les autres. Cette voûte est d'ailleurs soutenue par la résistance que les murs opposent à sa poussée. Rien de semblable ne se trouve dans les planchers ordinaires.

§ 16. *Planchers avec pendentifs.*

On a construit des planchers avec des pendentifs, plus ou moins saillants aux points de réunion des solives, qui dessinaient les compartiments de leurs charpentes. L'objet de ces pendentifs était de former en dessous des planchers une décoration de plafond, à l'instar de quelques voûtes gothiques, et d'accroître la force des solives. Un des planchers à pendentifs, le plus remarquable, était celui qui formait le plafond de la chambre dorée du palais de justice, à Paris. Nous en donnons une description dans le chapitre où nous traitons de l'emploi des pendentifs dans les constructions en charpente.

§ 17. *Scellement des bois dans les murs.*

Les bouts des solives et des poutres des planchers sont, le plus ordinairement, scellés dans les parois des bâtiments, où ils doivent trouver des appuis solides et durables. Lorsque les parois sont en pans de bois, leur épaisseur est toujours trop faible pour que les bois des planchers ne les traversent pas, et souvent même les solives les dépassent en formant des saillies ou encorbellements dont on profitait autrefois pour donner aux étages supérieurs une étendue plus grande que celle du rez-de-chaussée (2); il n'en est pas de même du scellement dans les parois en murailles.

(1) *Art de bâtir*, 1834, t. II, p. 62.

(2) Un édit du roi, du mois de décembre 1607, défend ces sortes d'encorbellements

Des considérations, qui sont du ressort de la maçonnerie, règlent les épaisseurs des murs d'un bâtiment; cependant le concours de l'art du charpentier ne doit pas être négligé pour la détermination de ces épaisseurs, vu que plusieurs détails de la confection des murs et leur stabilité, aussi bien que la solidité des planchers, dépendent du mode adopté pour le soutien des poutres et des solives, et par conséquent de la profondeur et de la multiplicité des scellements des bois.

En général, les bouts des solives sont engagés dans la maçonnerie, du tiers ou de la moitié de l'épaisseur des murailles, lorsque cette épaisseur n'excède pas 0^m,50, ce qui donne aux bois une portée de 20 à 25 centimètres. Lorsque les murs sont plus épais et que les solives ont un fort équarrissage, on se contente de donner aux scellements 32 à 33 centimètres de profondeur; mais si les murs sont plus minces que 25 à 30 centimètres, il est convenable que les scellements en occupent toute l'épaisseur, afin de ne point laisser aux bouts des bois des parties de maçonnerie trop minces pour être solides; on doit même, dans ce cas, diminuer le nombre des scellements, par une disposition du genre de celle figurée en *E*, pl. XXXII, ou en *R*, pl. XXXIII, afin de moins affaiblir les murs.

Lorsque l'épaisseur des murs le permet, il y a avantage même pour la solidité des maçonneries, d'y engager les bouts des solives plus que moins, par la raison que, lorsqu'ils sont scellés profondément, ils se trouvent tellement bien retenus dans leurs scellements, que leurs vibrations, qui sont une suite de celles du plancher lorsqu'on agit dessus, sont tellement réduites, qu'elles ne peuvent plus détériorer les bords de la maçonnerie, tandis que lorsque les solives sont peu engagées dans les murs, surtout si la maçonnerie n'est pas d'une qualité parfaite, leurs bouts se ressentant des vibrations du plancher, ils agissent comme des leviers pour ébranler leurs scellements, et dégrader le mur avec d'autant plus de puissance qu'ils sont moins longs.

Lorsque la qualité de la maçonnerie n'est pas propre à donner aux solives une assiette solide, on établit le plancher sur des sablières engagées, et quelquefois entièrement logées dans les murs, comme celui que nous avons figuré en *C*, pl. XXXII. Il résulte de cette disposition, que les

et saillies; et ordonne, en cas de réparations, qu'ils seront refaits aplomb du rez-de-chaussée. (Voyez la note au 4^e, chap. X.)

vibrations de solives ne peuvent dégrader le dessous des scellements; mais l'affaiblissement des murs est continu par l'effet du logement des sablières, qui en diminuent l'épaisseur, et cet affaiblissement se joint à celui résultant des scellements partiels des solives au-dessus des sablières. Tant que les bois subsistent sains, il n'y a pas grand mal à redouter, quoique leur résistance à la pression occasionnée par le poids du mur soit moindre que celle de la maçonnerie dont ils occupent la place; mais lorsque les sablières pourrissent, en outre que les soutiens des planchers se trouvent détruits, la solidité des murs est fort diminuée par l'effet des vides que les bois laissent, à moins que ces murs ne soient fort épais, ou que les sablières n'aient été posées sur les retraites des différents étages.

Les poutres ayant à supporter une plus grande partie de la charge d'un plancher que celle que supporte chaque solive, on engage davantage leurs extrémités dans les murailles, et quelque bonnes que soient les maçonneries de moellons, on a adopté l'usage de placer sous les bouts des poutres des bouts de bois, qu'on nomme coussinets, comme ceux qu'on voit figurés sous les poutres des planches XXXVII, XXXVIII et XXXIX, pour faire porter la charge sur une étendue de mur plus grande que la largeur de chaque poutre. Quelquefois on substitue à ces coussinets des pierres de taille. Quelle que soit la bonne qualité des murs en moellons qui doivent supporter des poutres, il est toujours plus prudent d'établir sous chacun de leurs bouts une chaîne en pierres de taille, montant de fond, et qui peut former une saillie comme celle d'un pilastre, ou affleurer le parement du mur.

Le mode de scellement des bois dans les parois en maçonnerie n'est pas moins important pour la solidité des planchers que les assemblages de leur charpente. On a remarqué que les extrémités des bois engagés dans les murs pourrissent, tandis que tout ce qui reste exposé à l'air peut se conserver une longue suite d'années, et même plusieurs siècles. C'est de cette observation qu'est venu l'usage d'établir les solives des planchers sur des sablières soutenues hors des murs par des corbeaux en pierres de taille ou en métal, et de faire porter les poutres sur des consoles de même espèce, qui isolent leurs extrémités des murailles.

La détérioration des poutres dans leurs scellements a des conséquences plus graves que celle de quelques solives, vu qu'elle compromet une plus grande étendue de plancher, et que le remplacement d'une poutre entraîne dans des travaux dispendieux.

On a attribué la pourriture des poutres dans leurs scellements à ce que le mortier de chaux et sable décomposait le bois et déterminait sa carie.

Mais on a observé la même détérioration sur des poutres dont les scellements étaient faits en mortier de terre argileuse, et même dans les murs entièrement en pierre de taille, dans lesquels les scellements se trouvaient faits sans mortier et rien que par la seule juxtaposition des pierres aux bois. Il faut donc reconnaître que c'est la seule humidité absorbée par le bois et renfermée dans des scellements privés d'air, qui cause la pourriture des portées des poutres dans les murs. On a essayé plusieurs moyens de remédier à cette détérioration, qui est moins fréquente dans les contrées méridionales que dans celles du Nord. Un moyen qui n'est pas sans efficacité, du moins pour retarder de beaucoup le mal, c'est de laisser autour des bouts des poutres un vide étroit qu'on ne remplit, pour achever le scellement, que lorsque les maçonneries sont parfaitement sèches.

L'usage de prolonger les poutres jusqu'aux parements extérieurs des murs, comme on en voit à quelques anciens édifices, notamment à des églises, est également bon lorsque les toits ont assez de saillie pour les abriter de la pluie; mais si les murs étaient trop épais, il en résulterait que les poutres auraient une longueur qui excéderait de beaucoup celle qu'il est suffisant de leur donner pour qu'elles s'appuient solidement sur ces murs; on se contente alors de leur donner seulement la longueur nécessaire à leur appui, et l'on ne fait leur scellement que sur leurs faces latérales et en dessus; on laisse à chaque bout un vide égal à leur équarrissage; ce vide s'étend sur tout le reste de l'épaisseur du mur, et il n'est fermé, à l'afféurement du parement extérieur, que par une pierre de taille de peu d'épaisseur, posée de champ et percée d'un nombre de trous suffisant pour assurer la communication de l'air extérieur avec celui de la cavité ainsi réservée à chaque bout des poutres. Mais cette précaution n'est pas complète, et, tant que, par son contact, la maçonnerie peut communiquer de l'humidité au bois, on doit craindre qu'il n'en résulte échauffement et pourriture de toute la partie qui est enveloppée par le scellement.

L'isolement de l'humidité et la libre circulation de l'air autour du bois engagé dans les murs sont donc les moyens de conservation les plus efficaces. Le mieux, c'est de faire porter les poutres sur de hautes consoles en pierre de taille ou en fer, dont les queues sont maçonnées profondément dans les murs : ces consoles doivent avoir des saillies suffisantes sur les parements, pour que les poutres y trouvent des portées assez longues pour la solidité, et que leurs bouts soient en outre écartés de la maçonnerie de 2 à 3 centimètres. On interpose entre chaque console et le bout de la poutre qu'elle supporte, une feuille de

plomb ou de cuivre qui empêche le contact immédiat de la pierre et du bois, et intercepte toute communication d'humidité. On peut enfin poser sur les consoles des cales de métal pour exhausser les bouts des poutres, et permettre à l'air de circuler en dessous.

Si la décoration intérieure de l'édifice ne permet pas l'emploi des consoles, on réserve dans les parements intérieurs des murs, des niches carrées un peu plus grandes qu'il ne faut pour recevoir les bouts des poutres, et leur donner une portée suffisante, en laissant circuler l'air sur toutes les faces des bois.

Lorsqu'on a démoli, il y a quelques années, une partie du château de la *Roque d'Ondres*, on a trouvé les extrémités des poutres en chêne portant dans les murs, parfaitement conservées, quoique ces poutres fussent en place, peut-être, depuis plus de 600 ans (1). Elles étaient enveloppées, dans toutes leurs portées pénétrant dans les murs, par des plaques de liège qui les isolaient de la maçonnerie (2). En abattant depuis la vieille église des bénédictins à Bayonne, on a reconnu que ses poutres en bois de sapin étaient vermoulues et pourries, excepté dans leurs portées, qui se trouvaient, comme celles des poutres du château de la *Roque*, enveloppées de plaques de liège. Les scellements étaient complétés par une couche de terre grasse interposée entre le liège et la maçonnerie, et, en outre, les parties des murs répondant aux bouts des poutres étaient en briques. On ne peut douter que le bon état de conservation des extrémités de ces poutres ne soit dû au liège, dont l'imperméabilité est bien connue, puisqu'on l'emploie pour faire des vases propres à contenir toutes sortes de liquides, et pour boucher des bouteilles renfermant des liqueurs spiritueuses. Ce procédé si simple, dont la bonté est éprouvée, et peu coûteux, mérite d'être adopté, surtout pour les édifices dans lesquels on veut assurer aux charpentes une longue durée.

On peut aussi développer les bouts des poutres avec des feuilles de plomb, de cuivre ou de zinc, pour les préserver de la communication de

(1) Le château de la *Roque d'Ondres* était un petit fort voisin du village d'Ondres, commune de Tarnos, près Bayonne; il était bâti sur un rocher, près de la mer. On pense que sa construction remonte au temps où les Anglais possédaient la Guienne.

(2) Le liège est l'écorce d'un chêne dont nous avons parlé, page 229; elle atteint une épaisseur de 3 à 4 centimètres (12 à 18 lignes); tous les 10 ou 12 ans on l'enlève en très-grandes plaques du corps de l'arbre sur pied, où elle se reproduit. On en fait une récolte considérable chaque année dans les environs de Bayonne et en Espagne.

l'humidité des murs; mais il est alors indispensable que les bois soient parfaitement secs. Car si les poutres contenaient encore de l'humidité végétale, il serait à craindre que leurs bouts, privés d'air dans leurs enveloppes de métal, se pourrissent assez promptement. Les enveloppes imperméables en liège, qui empêchent le contact avec l'humidité des maçonneries, ne s'opposant pas à la dessiccation du bois, sont préférables.

§ 18. *Soffites* (1).

Les *soffites* sont des lambris posés horizontalement, soit pour diminuer la hauteur du dedans des grands édifices, soit pour masquer leurs charpentes élevées et obscures. Ils forment ordinairement de grands plafonds qui concourent à la richesse des décorations intérieures.

Les *soffites* les plus remarquables sont ceux de Saint-Paul et de Saint-Laurent hors des murs, ceux de Sainte-Marie Majeure et de Saint-Jean de Latran à Rome, et ceux de Saint-Janvier à Naples (2).

Séb. Serlio a donné dans son *Architecture* (3) de très-belles combinaisons de *soffites*, parmi lesquelles on remarque celles du magnifique plafond qu'il a fait exécuter à Fontainebleau, sous François I^{er}; ce plafond ou *soffite* est regardé comme le plus bel ouvrage en ce genre qui existe aujourd'hui; il est dans un état de parfaite conservation.

Les *soffites* en bois, qui ne sont plus d'un usage aussi fréquent que par le passé (4), avaient sur les plafonds en plâtre qu'on fait aujourd'hui, l'avantage de ne pas nuire à la conservation des charpentes (5). Le plâtre dont on enveloppe les poutres, les solives et toutes les pièces qui concourent aux formes qu'on donne maintenant aux plafonds, pénètre les bois de son humidité, les prive d'air et cause leur prompt ruine.

(1) Le nom de *soffite* est emprunté de l'italien *soffitto*.

(2) Des détails en grand des *soffites* de Sainte-Marie Majeure et de Saint-Jean de Latran se trouvent pl. CXVI de l'*Art de bâtir*, de Rondelet, t. 3, p. 194. Ceux de Sainte-Marie Majeure ont été commencés en 1456 et terminés en 1500.

(3) Liv. IV, chap. XII.

(4) Il paraît, d'après Tite-Live et Cicéron, cités par Rondelet, que les *soffites* ou plafonds en bois étaient en usage du temps des anciens.

(5) L'église de Notre-Dame de Lorette, construite à Paris par M. Lebas, architecte, est décorée de *soffites* du genre de ceux des basiliques de Rome.

Les soffites sont du ressort de la menuiserie ; mais comme on les soutient en les combinant avec les bois des planchers, ou en les suspendant à ceux des combles, nous en figurons, pl. XXXVI, deux systèmes qui, pour n'être pas aussi somptueux que ceux que nous avons cités plus haut, ne sont pas moins propres à faire connaître aux charpentiers comment leur art concourt à la construction des soffites.

Déjà nous avons décrit au paragraphe 2 du présent chapitre, et pl. XXXI, un plafond formé par la combinaison de divers étrésillons avec des solives, pour distribuer des compartiments.

Les plafonds de ce genre peuvent devenir de véritables soffites par l'effet de la profondeur de leurs caissons, le relief des sculptures et la richesse des peintures et dorures dont on peut les décorer.

La fig. VI, pl. XXXVI, est la projection horizontale d'une partie des soffites de la maison de bois de Hollande dont nous avons décrit un plancher, au § 5 du présent chapitre. A droite de la ligne *AB* on voit le dessus de la construction ; à gauche de la même ligne, on voit en dessous, les soffites qui forment le plafond d'une des grandes salles.

La fig. 5 est une coupe suivant les lignes *CDEFGH*, projetée sur un seul plan vertical, parallèle aux lignes *CD*, *EF*, *GH* ; la fig. 7. est une autre coupe, par un plan vertical, suivant la ligne *AB*. Des poutres parallèles, composées chacune de deux pièces posées l'une au-dessus de l'autre et boulonnées, sont marquées *a, a*. Les soffites forment des caissons carrés et égaux rangés dans un sens entre ces poutres, et perpendiculairement dans l'autre sens. Chaque caisson se compose d'un encadrement en corniche de deux épaisseurs de bois et d'un fond. *b, b* sont des solives éléguées en dessous, suivant le profil du larmier et des moulures inférieures de la corniche ; elles sont perpendiculairement aux poutres *a, a*, et s'y assemblent à tenons et mortaises ; le tenon de chaque bout est réservé dans la moitié supérieure de l'épaisseur de la solive ; il n'a de largeur que celle que lui permettent les moulures. *c c* sont des solives également éléguées en dessous, en suivant le même profil ; elles portent sur les premières par des tenons réservés dans le quart supérieur de leur épaisseur, et qui sont reçus dans des entailles. Dans chaque caisson les quatre pièces d'encadrement se joignent à onglets dans les angles ; leurs moulures se correspondent et elles forment la première épaisseur de bois de la corniche. Au-dessus de ces quatre solives, quatre plateaux *d, d, e, e*, qui se joignent également à onglets dans les angles, pour les parties répondant aux moulures, et à mi-bois pour le reste, forment la cimaise et la seconde épais-

seur de bois de la corniche. En dessous de chaque solive *b*, un soliveau *f* est ajouté à son épaisseur, pour affleurer le dessous des poutres *a*, dans lesquelles il s'assemble, comme la solive *b*, par un tenon qui occupe la moitié de son épaisseur supérieure. Les caissons compris entre deux poutres sont séparés les uns des autres par deux soliveaux qui figurent des frises perpendiculaires et égales à celles formées par les dessous de ces mêmes poutres. Les intervalles entre les soliveaux *f* sont remplis par des ais *g* qui forment des renforcements égaux à ceux des frises creusées sous les poutres.

Les solives *b*, *c*, les plateaux *d*, *e*, ainsi que les soliveaux *f* sont liés entre eux par des boulons verticaux. Au-dessus des corniches, de fortes planches *h*, *h*, jointes à rainures et languettes, et clouées, composent les fonds des caissons. Les cadres formés par les corniches ne sont retenus aux poutres que par les seuls tenons des solives *b*, *b* et des soliveaux *f*. Le fil du bois des tenons des solives *b*, *b* n'est point coupé par les entailles qui reçoivent les tenons des pièces *d*, *d*, ce qui est fort essentiel pour la solidité des premiers.

La fig. 11 est une coupe dans le soffite de la salle des gardes du vieux palais à Turin; cette coupe est faite par un plan vertical perpendiculaire aux poutres *a*, *a*, elle passe au tiers environ de la largeur d'un rang de caissons. Ces soffites présentent, quant à l'apparence et à la distribution intérieure des caissons, à peu près la même combinaison que ceux de la maison de bois dont nous venons de donner une description; mais il en diffère par le mode de construction des caissons, et parce qu'ils sont suspendus à la charpente au lieu d'en faire partie.

b, *b*, *c*, *c* sont des barres pendantes en bois de mêmes équarrissages; les premières sont vues sur leur épaisseur, les secondes sur leur largeur; elles sont clouées par couple, celles *b*, *b*, sur les faces latérales des poutres *a*, *a*, et celles *c*, *c*, sur les faces verticales des doubles rangs de liernes *d*, *d*, qui sont fixées, par de grands clous ou des broches en fer, sur les mêmes poutres. Une seconde coupe de ce plafond, par un plan vertical perpendiculaire à celui de la coupe représentée par la figure, montrerait les poutres *a*, *a* selon leur longueur; les liernes *d*, *d* seraient vues par leurs bouts, et leurs faces verticales écartées de dehors en dehors d'une distance égale à l'épaisseur de chaque poutre; elle ferait voir les barres pendantes *b*, *b*, comme on voit celles *c*, *c* dans la fig. 11, et celles-ci comme on voit les premières. La coupe des caissons serait la même.

Deux couples de barres pendantes *b, b*, embrassent un panneau en planches *g, g*, et s'y fixent avec des broches en fer ou des boulons. Trois panneaux semblables répondent à la largeur des fonds de chaque rang de caissons; de même, deux couples de barres pendantes *c, c*, écartées comme celles *b, b*, embrassent un panneau en planche *ii* pareil à ceux *g, g* et s'y fixent également par des broches ou des boulons. Trois de ces panneaux *ii* répondent de même à la largeur des fonds de chaque rang de caissons, dans l'autre sens. Les planches qui forment les côtés des trémies ou caissons sont clouées, celles *h* vues en coupe sur les bouts des panneaux *g, g*, et celles *k* vues de face sur les bouts des panneaux *ii*.

Les frises *e, e, f, f*, qui se joignent à onglets entre les angles de quatre caissons contigus, sont clouées, les premières sous les panneaux *g, g*, les secondes sous les panneaux *ii*. L'intérieur de chaque trémie est revêtu de moulures *l*, qui forment la corniche d'encadrement, comme nous les avons représentées pour le caisson du milieu de la fig. 11, dont les planches *m* forment le fond.

On fait aussi des soffites courbes pour produire l'apparence des *intrados* des voûtes en pierres, décorés de caissons, de compartiments et de peintures. Ces sortes de soffites résultent, de même que ceux que nous venons de décrire, de panneaux de menuiserie, ou de lambris courbes également en menuiserie, suspendus par des barres pendantes en bois ou en fer, aux bois de charpente des combles.

§ 19. *Grosses des bois.*

Un plancher doit non-seulement supporter le poids des bois de sa propre charpente, avec ses hourdis, son plafond et son aire, les meubles, machines et marchandises qu'on peut y rassembler, il faut en outre qu'il résiste avec roideur aux chocs multipliés et rudes que l'exercice de certaines professions, ou de nombreuses réunions occasionnent.

Bullet a indiqué, dans son *Architecture*, souvent réimprimée depuis 1691, les équarrissages qui satisfont à ces conditions. Ils ont été réglés par la pratique et éprouvés par l'expérience de la longue durée des planchers existants de son temps. L'usage les a consacrés. Nous les avons réunis dans le tableau suivant. Les pièces doivent être posées de champ.

POUTRES.		SOLIVES DE BRIN.			SOLIVES DE SCLAGE.		
LONGUEURS en mètres.	ÉQUARRISS. en millim.	LONGUEURS en mètres.	ÉQUARRISS. en millim.	ÉCARTEM. en millim.	LONGUEURS en mètres.	ÉQUARRISS. en millim.	ÉCARTEM. en millim.
3 ^m ,700	270 à 324				4 ^m ,875	162 à 216	
4 875	297 à 351				5 850	216 à 243	
5 850	324 à 405				7 800	243 à 270	216
6 825	351 à 432	de	de		8 125	270 à 297	
7 800	365 à 486	2 ^m ,925	135	162			
8 775	405 à 513	à	à				
9 750	432 à 567	5 ^m ,875	189				
10 725	459 à 594						
11 700	486 à 621						
12 675	513 à 648						
13 650	540 à 675						

CHAPITRE XII.

COUVERTURES.

Un *toit* (1) est la partie d'un bâtiment qui s'étend sur son étage le plus élevé et qui met son intérieur à l'abri des injures du temps. La surface supérieure d'un toit est composée de matériaux convenablement choisis et arrangés pour former une *couverture* imperméable; cette couverture est posée sur des planchers pleins ou à claire-voie cloués sur des pans de charpente qui déterminent leurs bandes, et qui sont soutenus par d'autres pans de charpente verticaux. La combinaison des uns et des autres forment les *combles* des bâtiments, ainsi nommés parce qu'ils en sont les parties *culminantes*.

Nous avons parlé dans notre Introduction, page 3, des couvertures appliquées par les sauvages sur leurs cabanes; plusieurs peuples ont conservé l'usage de celles qui ont été jugées le mieux appropriées aux climats qu'ils habitent. Dans le nord de la Suède, on trouve des bâtiments couverts avec de l'écorce de bouleau maintenue sur la charpente par un remblai en terre où l'on sème du gazon. Au Pérou, on couvre les maisons de claies horizontales très-serrées, sur lesquelles on étend une couche de sable fin, épaisse de 0",06 à 0",08. D'un côté, la terre conserve l'écorce du bouleau, qui est imperméable et presque incorruptible tant qu'elle est humide; de l'autre, le sable absorbe les abondantes rosées de la nuit, qui n'ont pas le temps de pénétrer dans l'habitation, vu que la chaleur du jour les fait évaporer avant qu'il en tombe de nouvelles.

Les matériaux dont on compose les couvertures, dans nos contrées, sont des produits végétaux, des pierres factices, des pierres naturelles, des métaux.

(1) Du latin *tectum*, de *tegere*, couvrir.

I

COUVERTURES EN MATIÈRES VÉGÉTALES.

§ 1. *Couvertures en chaume.*

Le chaume des couvreurs est la paille longue, droite et non brisée (*ca-tanus*), de diverses espèces de blés, coupée entre l'épi et la racine. Le meilleur chaume est celui du seigle, parce qu'il est le plus long et le plus dur.

Les charpentes des toits en chaume sont ordinairement en bois ronds et de la moindre valeur.

La fig. 1, pl. XL, est un détail de la construction d'un pan de toit et de sa couverture en chaume. La partie de la figure qui est sur la droite est une coupe verticale passant par une des lignes de plus grande pente. Le toit est vu de profil; son inclinaison est ordinairement de 45 degrés : plus douce, il serait à craindre que, pendant les grandes pluies, l'eau, qui doit s'écouler de brin en brin, pût traverser toute l'épaisseur du chaume avant d'être rendue à l'égout du toit, et elle donnerait trop de prise aux vents; plus roide, le rapidité de l'eau pourrait arracher le chaume. L'égout du toit, que le dessin ne fait pas voir, doit avoir une saillie d'un demi-mètre sur les murs.

L'autre partie de la figure est la projection du même toit sur un plan parallèle à la surface de la couverture; elle est relevée verticalement, et présente le travail dans différents états d'avancement.

a, b, Pannes rondes ou carrées, suivant le bois qu'on a.

c, Perches parallèles, chevalées et brandies sur les pannes (1) et formant les chevrons. Les meilleures sont celles en jeunes brins de chêne, dépouillés de leur écorce; on en fait aussi avec des jeunes sapins.

d, Perches-lattes ou perchettes, attachées horizontalement sur les chevrons, par des liens croisés formés de branches flexibles d'osier ou de coudrier, serrés par des nœuds, comme ceux des harts de fagots.

On emploie des chevrons et des lattes carrés que lorsque le bois est à

(1) *Brandir* des perches, c'est les attacher sur les pannes avec des chevilles en bois dur.

très-bas prix; mais les bois ronds sont encore préférables, parce que les liens se plient et se serrent mieux autour d'eux. L'économie étant le principal avantage des toits en chaume, on s'abstient d'y employer des clous.

e. Couverture. Elle est formée de petites bottes de chaume nommées *javelles*, qui sont réunies deux à deux par un lien commun de paille et mieux d'osier, qui les entoure en s'entrelaçant de l'une à l'autre. On voit en *p* des *javelles* liées ainsi. Chaque *javelle* est égalisée d'un bout, par quelques secousses en la tenant verticale sur un sol uni avant de la lier; l'autre bout est coupé avec la faucille. Deux *javelles* sont figurées isolément en *f*.

Un toit de chaume se construit par *orgues* ou rangées horizontales; les *orgues* se recouvrent au moins de la moitié de la longueur de la partie pendante des *javelles*, qui sont d'ailleurs posées de façon que les *javelles* d'une *orgue* répondent aux joints des *javelles* de l'*orgue* inférieure. Dans chaque *orgue* les *javelles* sont attachées deux à deux sur la perche-latte correspondante, par un lien qui passe entre elles et enveloppe le lien qui les unit; ce qui donne le moyen de les serrer plus fortement contre les perches-lattes et entre elles.

Quelques couvreurs en chaume attachent les *javelles* une à une sur les perchettes, par des liens croisés, comme on en voit en *g*. La première méthode est préférable.

La première *orgue* est posée au bas du toit sur un rang de coussinets en chaume enlacé d'osier, très-serrés les uns contre les autres, qui déterminent la pente des premières *orgues*, afin que de l'égout au faite toutes les *javelles* aient la même inclinaison. Le faite de la couverture est formé par des *javelles faitières* posées à cheval sur les deux pentes du toit, et pour les consolider, en outre des liens qui les attachent, on les charge d'un mortier de terre grasse.

Après qu'une couverture en chaume est confectionnée, on laisse, pendant environ trois mois, le chaume tasser; au bout de ce temps le couvreur recharge les endroits creux, nommés *gouttières*, en insinuant, au moyen d'une palette en bois, entre les *javelles* posées, d'autres *javelles* simples de remplissage, dont la grosseur est proportionnée au besoin d'épaissir et de serrer le chaume. Lorsque la couverture est terminée, on la peigne légèrement avec un rateau, on coupe tous les brins de chaume dont la longueur excède la surface du toit ou son égout.

Les couvertures de chaume, en vieillissant, se couvrent de mousses qui conservent l'humidité et les pourrissent. On prolonge leur durée en leur

faisant un *manteau*, c'est une couche de chaume neuf qu'on ajoute sur l'ancien, après qu'on l'a nettoyé des mousses et des parties pourries.

Les couvertures en chaume sont en usage notamment pour les maisons des paysans auxquelles elles donnent le nom de *chaumière* ou *chaumine*. Ces sortes de couvertures garantissent l'intérieur des habitations, du froid dans l'hiver et de la chaleur dans l'été. C'est par cette raison qu'on les préfère pour les glaciers; mais on les établit alors sur des charpentes mieux construites.

On en fait encore usage pour les bâtiments d'exploitations rurales, à cause du peu de frais de construction qu'elles occasionnent. Elles sont dégradées par les oiseaux de colombier et de basse-cour, et elles servent de repaire à une foule d'insectes, et aux animaux nuisibles aux récoltes.

Elles sont aisément incendiées, elles fournissent un aliment abondant aux flammes et les propagent rapidement.

On a cherché à les rendre incombustibles par différents enduits; mais si l'on a atteint le but par rapport au feu, ces enduits sont nuisibles aux couvertures sous d'autres rapports.

§ 2. Couvertures en joncs et en roseaux.

On fait des couvertures avec les joncs et les roseaux qui croissent dans les marais. On les construit comme celles de chaume, si ce n'est qu'on écarte moins les perchettes afin d'attacher les javelles avec plusieurs liens, parce qu'autrement les roseaux et les joncs seraient sujets à glisser.

Les couvertures en roseaux sont plus difficiles à faire que celles en chaume; leur durée est beaucoup plus longue.

§ 3. Couvertures en bardeaux (1).

Les *bardeaux* sont de petits ais dont on *barde* ou couvre les toits et même les parois verticales des maisons en bois, pour les garantir de la pluie. L'usage du *bardeau* a de beaucoup précédé celui de la tuile. Pendant près de 500 ans les maisons de l'ancienne Rome n'ont été couvertes qu'en *bardeau* (2).

(1) Les Latins nommaient le bardeau *scandula*. Dans quelques départements, le *bardeau* et les éclats de bois sont encore appelés *essangues*, *essannes*, *esseaux*.

(2) Les ruines celtiques ne contiennent aucun débris de tuile (*Art du tuilier*).

Les bardeaux sont fendus à la forêt comme le merrain qui sert à faire des tonneaux. Ils sont dressés et polis avec la *doloire* à douves; les tonneliers sont le plus souvent chargés de ce travail.

On fait des bardeaux en bois de chêne, de châtaignier et de hêtre; en Allemagne, on en fait en sapin. Les meilleurs sont ceux de chêne : ceux de sapin, quand ils sont très-résineux, sont aussi bons.

On conserve ordinairement aux bardeaux la forme carrée de leur bout, fig. 6, par économie de travail; quelquefois on arrondit leur extrémité inférieure, fig. 8; on les taille aussi en pointe, fig. 7, ce qui a l'avantage de faciliter l'écoulement de l'eau, et de faire sécher le toit plus promptement lorsque la pluie a cessé. Les bardeaux sont cloués sur des lattes horizontales; ces lattes sont elles-mêmes clouées sur les chevrons, pour les toits, et sur les poteaux et guettes de pans de bois, pour les parois verticales. Les lattes, posées par cours horizontaux, sont écartés du tiers de la hauteur des bardeaux. Le charpentier-couvreur doit percer chaque bardeau avant de le poser, avec une vrille suffisamment grosse pour passer le clou qui doit l'attacher à la latte, afin qu'il ne le fasse pas fendre. Le bardeau est plus solidement tenu quand on l'attache avec deux clous. Chaque rangée de bardeau recouvre les bardeaux de la rangée inférieure des deux tiers de sa hauteur, et l'on fait répondre le milieu de chaque bardeau d'un rang, sur un joint du rang au-dessous.

Les bardeaux exigent une pente de 45° au moins, pour que l'eau ne puisse pas traverser le toit en s'étendant latéralement en dessus et en dessous de leurs surfaces plates et miées.

La légèreté est le principal avantage des couvertures en bardeaux; elles permettent de faire des charpentes également fort légères. Lorsque les couvertures en bardeaux sont bien faites, elles résistent mieux aux vents que celles en tuiles plates et en ardoises. On peut prolonger leur durée, déjà assez longue, en les peignant avec une bonne couleur à l'huile, dont il faut donner de nouvelles couches lorsque les anciennes se détériorent et laissent le bois à nu.

§ 4. Couvertures en planches.

On couvre souvent des baraques et des hangars provisoires avec des planches, qu'on peut disposer de plusieurs manières.

On cloue les planches sur les pannes, dans le sens de la pente du toit, et comme à claire-voie, de façon qu'elles sont écartées les unes des autres

d'un peu moins que leur largeur; chaque intervalle est bouché par une planche clouée dans le même sens sur les bords des premières. Cette disposition est représentée, fig. 15, sur une coupe faite par un plan perpendiculaire à la direction des planches. On peut aussi clouer les planches, également suivant la pente du toit, mais jointives; les joints sont alors couverts par des lattes, débitées à la scie, et clouées sur les bords des planches. La fig. 14, qui est une autre coupe, faite dans le même sens que la précédente, représente cette seconde manière de disposer les planches.

Ces deux modes de couvertures ne peuvent pas intercepter complètement le passage de l'eau, à moins qu'elles ne soient peintes et leurs joints mastiqués avec soin, ce que ne comportent pas les circonstances dans lesquelles on en fait ordinairement usage. Il est préférable de clouer les planches horizontalement sur les chevrons portés par des pannes, et de les joindre à *clin*, comme elles sont représentées, vues par leurs bouts, dans la coupe fig. 17. Cette coupe est faite par un plan vertical, passant par une des lignes de plus grande pente d'un toit. Entre les chevrons, les planches sont clouées l'une sur l'autre, pour maintenir leurs joints; les clous sont rivés en dessous. On emploie les planches de même longueur, comme par travées, et l'on couvre tous les joints qui se trouvent sur un même chevron, par une planche clouée en dessus suivant la pente du toit. Cette couverture garantit fort bien de la pluie et du vent, tant qu'elle est nouvellement faite; mais comme les planches ne portent point à plat sur les chevrons, elles se voilent, leurs joints s'ouvrent et elles se fendent quelquefois.

La fig. 16 est le détail d'une construction plus complète et plus solide. Sur la droite se trouve, comme précédemment, une coupe par un plan vertical suivant une ligne de pente du toit; à gauche, la couverture est projetée sur un plan qui lui est parallèle; cette projection est relevée verticalement. *a*, Panne. Le profil n'en présente qu'une; elles sont multipliées autant que le nécessite l'étendue du toit, mais vu la légèreté de ce mode de construction, on les écarte beaucoup plus que pour tout autre. *b*, Chevrons portés par les pannes; on ne les écarte que de 4 à 6 décimètres, au plus. Par le même motif on pourrait les écarter bien davantage; mais ils sont à cet effet coupés en crémaillères pour les recevoir, comme on le voit en *c*, où les planches *d* sont enlevées.

e, Planches clouées à *clin* dans les entailles des chevrons. Chaque planche est tenue sur chaque chevron qu'elle croise, par trois clous au moins. Les joints sont maintenus et serrés entre les chevrons, par deux ou trois vis au moins, ou par autant de clous en dessous du toit. *f*, Lattes entaillées par

dessous en crémaillères, pour s'ajuster sur les planches à clin, et par dessus en dos d'âne pour leur donner une apparence plus légère. Ces lattes sont clouées sur les joints montants des planches, qu'on réunit par chaque longueur de planche sur le milieu d'un chevron. Une de ces lattes est écartée du toit en *f* pour faire voir ses crans.

Lorsque cette couverture est bien faite, qu'elle est peinte d'une bonne couleur à l'huile, elle dure longtemps et coûte peu d'entretien. On y emploie de préférence des planches de pin et de sapin.

§ 5. Couvertures en toile.

On couvre quelquefois des baraques et des hangars avec de la grosse toile enduite d'avance de goudron ou de bitume, ou seulement peinte à l'huile pour la rendre imperméable; on en prépare en fabrique (1). On l'applique sur un plancher bien uni et bien joint, dont on a soin de renfoncer les têtes des clous dans le bois. La toile est posée par lés horizontaux en commençant par le bas du toit. On étend le lé à poser, à l'envers, sur le dernier lé posé, environ 13 à 18 millimètres plus bas, afin de replier la lisière de celui-ci sur celle du premier, pour former une espèce d'ourlet, de trois épaisseurs de toile, sur lequel on cloue, près du bord supérieur, un rang de *broquettes* (2). On retourne le lé, pour l'étendre à sa place, et l'on cloue un second rang de broquettes près du bord inférieur sur le même ourlet, alors composé de quatre épaisseurs de toile. Il est convenable de piquer les clous dans des rondelles de toile de 12 à 13 millimètres, pour que leurs têtes ne percent pas les lés, et on les couvre avec un peu d'enduit pareil à celui dont la toile est imprégnée. Quelquefois on cloue les lés à l'envers et on les replie par dessus les clous, pour les couvrir; mais cette méthode fait déchirer la toile. Lorsque les lés n'ont pas assez de longueur pour l'étendue du bâtiment, on les coud bout à bout, en ourlet, et l'on enduit les coutures.

On emploie ce genre de couverture sous un angle de 20 à 25 degrés, pour que l'écoulement de l'eau soit plus rapide; on applique une nouvelle couche d'enduit ou de peinture à l'huile lorsque la toile devient trop sèche. Les couvertures en toile ne sont bonnes que pour des établissements très-

(1) Les grosses toiles imperméables, pour couvertures, de 20 à 25 fils au pouce (0^m.027), pèsent environ 1 kil. le mètre carré; 7 livres 3/4 la toise superficielle.

(2) Petits clous à têtes plates, qui servent au tapissier.

provisoires. Vu leur entretien coûteux, il n'y a point d'économie à en faire usage sur des établissements qui doivent avoir quelque durée. Une couverture en tuiles creuses, dont on retrouve les matériaux lorsqu'elle n'est plus nécessaire, est presque toujours préférable, malgré que la première dépense soit plus forte.

II.

COUVERTURES EN PIERRES FACTICES.

§ 1. *Couvertures en tuiles.*

Les tuiles sont des tablettes en terre, moulées et cuites. Quoique leur usage, pour couvrir les bâtiments, soit postérieur à celui du bardeau, il n'en remonte pas moins à une très-haute antiquité. On fabrique des tuiles de diverses formes; elles sont toutes composées d'un mélange de terre argileuse et de sable réduit en pâte fine et homogène. En sortant du moule, les tuiles qui doivent être courbes sont contournées sur des formes en bois; on ajoute, à celles qui doivent rester plates, un talon ou crochet de la même pâte, dont nous verrons l'usage. On fait sécher les tuiles, d'abord à l'ombre, puis au soleil, et on les fait cuire dans des fours faits exprès.

La couleur de la terre cuite n'est pas un indice suffisant pour reconnaître la qualité des tuiles : elle dépend de l'espèce de terre avec laquelle elles sont fabriquées. Les bonnes tuiles sont sonores, et leur texture est serrée.

En France, les tuiles de Bourgogne, celles de Marseille et celles de Bordeaux sont les meilleures; elles sont néanmoins loin de valoir les tuiles des Anciens, ce qui provient du peu de soin que les fabricants apportent dans le choix et la préparation de la terre.

Les tuiles les plus en usage en France et dans les pays septentrionaux, sont les tuiles plates, les tuiles creuses et les tuiles en *S*, dites *flamandes* et *pannes*.

Tuiles plates. Elles sont distinguées en *grand moule* et *petit moule*.

La fig. 2, pl. XL, est le détail d'une couverture en tuiles plates. Sur la droite est une coupe par un plan vertical passant par une des lignes de pente du toit; le reste de la figure est une projection sur un plan parallèle au toit et relevée dans une position verticale. *a, a*, Pannes. *b, b*, Chevrons qui portent sur les pannes. *c*, Lattes clouées sur les chevrons.

A Paris, on emploie des lattes de fente en chêne; elles ont 1^m,30 de longueur, de sorte qu'on les cloue sur quatre chevrons qui, pour cela,

sont espacés de *quatre à la latte*. On les pose en liaison, c'est-à-dire que leurs bouts ne se trouvent pas sur un même chevron, mais à peu près également distribués entre tous. Il en résulte une solidité aussi utile à la couverture qu'à la charpente du toit (1).

Les lattes dites *carrées* avaient autrefois 0^m,054 de large sur 0^m,007 d'épaisseur; par un abus très-répréhensible et qui nuit à la durée des couvertures, elles n'ont plus que 0^m,04, de largeur et 0^m,004 d'épaisseur (2). Les couvreurs les clouent avec un marteau dont la tête porte d'un bout un carré pour frapper, et de l'autre un tranchant pour les couper à la longueur exacte qui convient à leur portée sur quatre chevrons, dont l'écartement doit être exactement calculé suivant le moule des tuiles qu'on doit employer, pour que leurs crochets ou talons ne rencontrent jamais les chevrons qui les empêcheraient de bien s'accrocher aux lattes.

Dans quelques départements, les lattes sont en sapin, débitées à la scie de long; elles sont plus fortes, ce qui permet d'écarter davantage les chevrons. Les lattes, quelle que soit leur espèce, clouées par cours horizontaux, sont écartées entre elles de milieu en milieu du liers de la hauteur des tuiles dont on fait usage, ou plutôt de la hauteur du pureau qu'on leur donne.

c, c, Tuiles plates accrochées aux lattes chacune par le *talon* ou *crochet* qu'elle porte en-dessous (3). Une de ces tuiles est représentée fig. 3. Le crochet *d* doit avoir assez de longueur pour dépasser la latte, et assez de force pour soutenir la tuile; on doit l'avoir couché vers le milieu de la tuile en la moulaüt pour qu'il ne glisse pas de dessus la latte. Il arrive quelquefois de graves accidents par la chute des tuiles, vu que le crochet casse par l'effet de la gelée ou de quelque vice de sa suture à la tuile. Dans quelques localités, pour prévenir ces accidents, on perce les tuiles, en les fabricant, de deux trous à chacune, pour les fixer aux lattes avec des clous en outre du crochet. Ces trous *h* sont situés assez bas pour répondre au milieu de la largeur des lattes, et assez grands pour que les clous ne fassent pas éclater les tuiles. On commence à placer les tuiles par le bas du toit et par rangées horizontales. Le premier rang, à l'égoüt

(1) Depuis quelques années, on emploie aussi, pour former les lattis, du treillage de châtaigner et des tringles de sapin.

(2) Le cent d'anciennes lattes pesait environ 60 kilog.; le cent de celles en usage aujourd'hui, ne pèse que 25 à 30 kilog.

(3) L'invention des tuiles plates à crochets est attribuée aux Gaulois; elle remonte au 1^{er} siècle.

du toit, est formé de deux ou trois tuiles, l'une sur l'autre, posées sur une latte clouée au bord du chevron, appelée *chanlatte*, dont l'objet est de donner au premier rang la même pente qu'à tous les autres rangs. Les tuiles sont au surplus disposées de la même manière que les bardeaux, et comme la figure les représente. Dans toute l'étendue du toit, le lattis est chargé de trois épaisseurs de tuiles, ce qui rend cette couverture extrêmement pesante, et est en partie cause de la raideur qu'on donne aux toits, afin de diminuer l'équarrissage des chevrons et des pannes. On peut diminuer le poids des couvertures en tuiles plates, d'un tiers, en écartant les tuiles dans chaque rang, de la moitié de leur largeur, comme en *g*; et des deux cinquièmes, en les écartant des deux tiers de leur largeur. Les rangs se recouvrent de la même manière. On pourrait diminuer encore le poids, en faisant le pureau des deux cinquièmes de la hauteur au lieu du tiers. Les couvertures construites suivant ce mode sont dites à *claire-voie* ou à la *mi-voie*; elles sont employées, par économie, sur des hangars et magasins qui n'ont pas besoin d'être bien clos, et sur des ateliers, lorsqu'il est utile de laisser échapper par les interstices des tuiles, les vapeurs et les gaz produit par les travaux qu'on y fait (1).

On reproche aux couvertures en tuiles plates de laisser la pluie, et notamment la neige entraînée par le vent, pénétrer dans les greniers. Cet inconvénient est plus grand dans les couvertures à la *mi-voie*, qu'avec celles à tuiles jointives, parce que les tuiles à la *mi-voie*, de deux en deux rangs, sont écartées verticalement de l'épaisseur du rang intermédiaire. On remédie à cet inconvénient, en maçonant les joints, à mesure qu'on pose les tuiles, par un filet de mortier, qui s'y attache très-bien. Ce mortier augmente un peu le poids.

En Allemagne, on place sous les joints montants, des lattes plates ou des fragments de bardeaux, qui les bouchent et rendent les couvertures plus chaudes.

On fabrique aussi des tuiles arrondies par le bas, fig. 8, et des tuiles ter-

(1) Pour raccorder au faîtage les pans d'un comble couvert en tuiles plates, on se sert de tuiles faîtères de forme demi-cylindrique, fig. 21 et 22, pl. XL bis. Ces faîtères se placent à la suite les unes des autres en laissant entre elles un espace de 0^m,05; elles sont reliées à la toiture avec du plâtre par des *embarrans* et bout à bout par des crêtes. Ces crêtes se dégradent rapidement. Il est plus avantageux de faire usage de *faîtères à bourrelets* qui s'assemblent par emboîtement. Elles ont 0^m,32 de long, plus le bourrelet sur 0^m,29 de largeur en plan. Prix : 0,60 c. la pièce. On en fait de 0^m,50 sur 0^m,31, prix : 0,75 c.

minées en pointe, fig. 7, qu'on fixe avec leurs crochets ou avec des clous, et qui sont d'un bon usage.

Jadis, les tuiles étaient vernissées en dessus par l'application d'un émail comme celui de la poterie commune; il y en avait de diverses couleurs, au moyen desquelles on formait des dessins sur les couvertures. On en voit encore à Lévy, canton de Pont-de-l'Arche, sur une maison qui a appartenu à la reine Blanche. Elles présentent, sur un fond vert, des carreaux rouges et jaunes. Les tuiles vernissées sont beaucoup plus durables que celles qui ne le sont point. L'eau ne les pénètre pas, elles ne se couvrent pas de mousse, et Rondelet dit avoir vu des couvertures en tuiles vernissées qui existaient sans avoir eu besoin de réparations depuis plusieurs siècles; mais leur prix, qui est à peu près le double de celui des tuiles non vernissées, empêche qu'on en fasse usage. Il est à désirer que l'industrie trouve un moyen de les livrer à un prix peu différent de la valeur des tuiles ordinaires (1).

Tuiles creuses. Le châssis qui leur sert de moule est un trapèze; elles sont courbées, lorsqu'elles sont encore molles, sur un mandrin conique; elles n'ont point de crochets; elles sont toutes égales et de même forme; on les pose sur un plancher dont la pente ne doit pas faire, avec l'horizon, un angle plus grand que 26 degrés, pour qu'elles ne glissent point.

La fig. 9, pl. XL, est le détail d'une couverture en tuiles creuses. A droite est une coupe par un plan vertical. A gauche est une projection sur un plan parallèle au toit: au-dessous se trouve une coupe par un plan perpendiculaire à cette projection, et suivant la ligne *AB*.

a, a, Files de tuiles dont la convexité est en dessous, formant des rigoles, dites *chanées* ou *chéneaux*, pour conduire l'eau à l'égout du toit. Ces tuiles sont posées par rangs horizontaux; le bout le plus large de chacune est en haut par rapport à la pente du toit, pour recevoir intérieurement le bout le plus étroit de la tuile du rang supérieur, qui la croise du cinquième environ de sa longueur. Pour assurer la stabilité de ces tuiles, elles sont accotées par des fragments d'autres tuiles.

b, b, Tuiles dont la convexité est en dessus, et le bout étroit en haut; elles forment les *chapeaux* qui recouvrent les intervalles des rigoles.

Les tuiles de la fig. 9 sont courbées suivant un arc d'environ 150 degrés, leurs surfaces sont coniques. Celles de la fig. 10 sont courbées en dos d'âne;

Depuis 1855, l'usage des tuiles vernissées s'est développé dans le Maconnais, la Franche-Comté et la Picardie. A Paris, on commence à se servir de tuiles émaillées.

leurs côtés forment des ailes planes, elles ont 0^m,16, de largeur à un bout, 0^m,41 à l'autre. Cette sorte de tuile est employée dans les départements de l'ouest et dans les environs de Bordeaux, où on les fabrique le mieux. La partie inférieure de la fig. 10 est une projection sur le plan du toit, pour montrer six de ces tuiles. Au-dessus, est leur coupe suivant la ligne *C D*. On les pose comme les précédentes sur un plancher; l'écartement des rigoles est déterminé par la condition que les parties planes des tuiles qui forment les chapeaux, s'appliquent dans toute l'étendue des parties planes des tuiles formant les rigoles.

Les deux modèles de tuiles des fig. 9 et 10 s'emploient sur des planchers dont les planches sont clouées horizontalement, dans le sens de leur longueur, sur les chevrons, et jointes à plat joint ou à rainures et languettes, suivant l'usage auquel on destine l'intérieur des combles. Dans les départements de l'ouest, les planches sont dirigées dans le sens de leur longueur suivant la pente du toit, et clouées sur les pannes sans intermédiaire des chevrons, comme la coupe fig. 12 les représente, *a* étant le plancher, vu suivant son épaisseur, et *b* les pannes. Cette méthode, malgré la nécessité de rapprocher les pannes, présente une grande économie de bois, par l'effet de la suppression des chevrons.

Lorsqu'on n'a pas besoin que les toits soient bien clos, on fait encore une économie de la moitié du bois du plancher, en le construisant à claire-voie avec des lattes de sciage en sapin clouées de même sur les pannes suivant la pente du toit.

La partie supérieure de la fig. 13 est la projection, sur un plan parallèle au toit, d'un latlis à claires-voies. Au-dessous de cette projection est une coupe suivant la ligne *J K*.

a, a, Pannes; *b, b*, lattes clouées; *c, c*, tuiles creuses formant deux rigoles, ou chanées commencées. Ces tuiles sont posées dans les intervalles des lattes. Elles n'ont pas besoin d'être calées. Les tuiles de recouvrement ou chapeaux, qui ne sont point indiquées dans la figure, sont posées sur les chanées, comme dans les couvertures des fig. 9 et 10. Ces sortes de couvertures s'emploient sur des magasins et des hangars; elles sont aussi imperméables et aussi durables que les autres. Elles résistent très-bien à la violence des vents.

Pour maintenir les couvertures sur des planchers pleins, on maçonne quelquefois les tuiles de trois en trois rangs. Sur les côtes maritimes, où le vent est violent, on préfère établir par dessus la couverture posée à sec des *quirlantes* formées des mêmes tuiles creuses maçonnées, en les croisant

sur les chapeaux parallèlement aux rangs des tuiles, de façon cependant que le mortier n'obstrue pas les rigoles; ces guirlandes sont placées de 2 en 2 mètres, et plus serrées au besoin. Il suffit qu'un rang de tuiles, formant chapeau, soit maintenu par une guirlande, pour empêcher le vent de soulever cinq ou six rangs au-dessous, et garantir de son atteinte deux ou trois rangs au-dessus.

Tuiles flamandes, ou pannes. Ces sortes de tuiles sont courbées en sens inverse sur leurs deux bords montants parallèles; la fig. 23 est une coupe faite perpendiculairement à un pan de toit suivant une de ses horizontales. Nous y avons figuré deux sortes de tuiles flamandes. Celles *a, a* sont employées sur des planchers lorsque les toits ont peu de pente. Celles de la forme *b, b* conviennent aux toits dont la raideur nécessite qu'elles soient accrochées aux lattes par un fort talon *x* que chacune porte au dos. Le milieu de ces tuiles doit être à peu près plan pour mieux s'appliquer sur le lattis. Les rangs se recouvrent d'environ 0",08.

Lorsque les tuiles flamandes ont peu de courbure, comme celles de la fig. 22, on est obligé de les soutenir en dessous par des liteaux cloués sur le plancher, pour assurer leur stabilité et empêcher leurs chanées de se trop relever.

Les tuiles flamandes de ce dernier modèle ne font pas de bonnes couvertures; dans les grandes pluies elles laissent souvent l'eau se déverser dans les combles, à cause du peu de capacité de leurs chanées. A la vérité, on fait dans ce cas les joints en mortier, mais ce moyen n'est pas toujours suffisant. Toutes les fois qu'on emploie un système de couverture dans lequel il y a des chanées, il ne remplit complètement son objet qu'autant que les chanées ont une capacité suffisante pour que l'eau en y coulant, quelle que soit son abondance, ne s'élève jamais au-dessus de leurs bords, sans qu'il soit nécessaire de maçonner les joints.

Tuiles à rebords. La fig. 24 est une coupe comme celles des figures précédentes, qui représente les formes des tuiles à rebords et à recouvrement, essayées par M. Fiolet, à Saint-Omer. On peut les poser sur un plancher pour les toits qui ont un peu de pente, ou les accrocher à des lattes en leur ajoutant un crochet, comme aux tuiles plates.

La fig. 49 est une autre coupe pour montrer la forme des tuiles à rebords inverses. La projection qui est au-dessous de cette coupe est faite sur un plan parallèle au pan du toit, elle montre l'arrangement des tuiles. Elle convient également aux coupes fig. 22, 23 et 24.

Tuiles romaines. Les anciens avaient conservé à leurs tuiles en terre cuite

les formes qu'ils avaient données aux tuiles en marbre dont ils s'étaient servis antérieurement, et qu'ils taillaient à grands frais. Les tuiles en terre cuite, sont dues à Byses, qui vivait 580 ans avant l'ère chrétienne. Les Grecs lui élevèrent, dit-on, une statue en reconnaissance d'une invention si utile.

La fig. 18 est une coupe par un plan perpendiculaire à la surface d'un toit en charpente, couvert avec des tuiles, dont le modèle est le plus ancien que l'on connaisse. Les Romains les employaient sur leurs édifices (1). Elles sont encore en usage en Italie et sur nos côtes de la Méditerranée.

a, a, Chevrons du toit, qui a peu de pente; ils sont écartés de 0^m,33 seulement. *b, b*, Briques, dites *pianelles*, de 0^m,31 de longueur, 0^m,16 de largeur et 0^m,029 d'épaisseur; elles sont jointes avec du mortier. *c, c*, Tuiles dites *tegole*, posées à bain de mortier sur les *pianelles*. Au-dessous de la figure, trois de ces *tegole* sont projetées sur un plan parallèle à la couverture.

d, d, Tuiles creuses, dites *canali*, qui recouvrent les espaces laissés entre les *tegole*. Une seule de ces tuiles *canali* est figurée sur la projection parallèle au plan de la couverture (2).

L'arrangement des *tegole* et des *canali* est le même que celui des tuiles creuses de la fig. 9. A Marseille, les *tegole* et les *canali* sont du même modèle; et elles sont également posées sur des *pianelles*.

Ces couvertures sont très-solides; elles peseraient beaucoup moins qu'aucune des autres que nous avons décrites, si elles étaient établies sur des planchers.

La fig. 11 est une coupe perpendiculaire au plan d'une couverture formée uniquement de *tegole*, les unes posées comme dans les couvertures à la romaine, pour les chanées, les autres retournées pour former les chapeaux. On voit à Rome, quelques couvertures construites suivant ce mode, qui a l'avantage de peser beaucoup moins qu'aucun autre. Quatre de ces *tegole* sont projetées en dessous de la coupe sur le plan de la couverture, pour montrer leur arrangement.

La fig. 21 est une coupe d'une couverture formée avec des tuiles d'un modèle proposé par M. Bruyère, comme une modification des tuiles romaines.

(1) La couverture de l'ancien temple qui est aujourd'hui l'église Saint-Urbain, à Rome, est construite en tuiles de ce modèle; elle date de plus de seize siècles.

(2) Les tuiles *canali*, soit en marbre, soit en terre cuite, des anciens, posées en bas de l'égoût du toit, étaient ornées d'une plaque sculptée qui en fermait le bont. On les nommait *ante-fixe* à cause de leur position. Deux plaques d'*ante-fixes* sont représentées au-dessous de la fig. 18, pl. XL

La fig. 20 est la coupe d'une couverture composée de tuiles d'un autre modèle qui atteint le même but.

La fig. 25 est la coupe d'une autre couverture en tuiles, également proposée par M. Bruyère, et qui a quelque analogie avec la méthode figurée sous le n° 13.

Tuiles italiennes. Un Italien a importé à Madrid, en 1805, un modèle de tuiles carrées à rebords, qui paraît remplir toutes les conditions pour former d'excellentes couvertures. Les tuiles de ce modèle sont toutes pareilles; elles sont carrées.

La fig. 27, qui est une projection sur un plan parallèle au toit, montre leur arrangement. Les tuiles sont posées de façon qu'une diagonale est dirigée suivant la pente du toit, et l'autre suivant son horizontale; chaque tuile porte un rebord sur deux côtés contigus d'une face, et un rebord en sens inverse sur les deux autres côtés de la face opposée. Une de ces tuiles est représentée isolément, fig. 31, par une projection sur son plat, par une élévation $a' b'$ projetée sur un plan perpendiculaire à ses faces et parallèle à sa diagonale $a b$, et par une coupe suivant la ligne $N O$. Ces tuiles se recouvrent toutes et sont comme accrochées les unes aux autres par leurs rebords. Quelque abondante que soit la pluie, l'eau ne peut pas pénétrer dans l'intérieur du toit par leurs joints, et leur disposition facilite son écoulement par leurs pointes inférieures. Elles sont vernissées de couleur ardoise. On les pose, à sec ou maçonnées, sur un plancher à *clins*, comme celui fig. 17, dont les *clins* sont écartés suivant les ressauts que font les joints en dessous. Cette couverture, qui est très-solide, est d'un bon aspect.

Au faite du toit, où les deux pans de couverture, inclinés en sens contraire, se rencontrent, la jonction du dernier rang d'un pan avec le dernier rang de l'autre pan, se couvre par une file horizontale de tuiles creuses, à peu près comme les tuiles des fig. 9 et 10, mais égales des deux bouts, et combées suivant les pentes des toits en usage dans le pays. On maçonne ces tuiles en les recouvrant les unes par les autres. Les arêtes saillantes et creuses, résultant des rencontres des différents toits, sont formées en coupant les tuiles suivant les angles que font les arêtes avec les horizontales des pans de couvertures. Les joints des arêtes saillantes sont couverts, comme le faite, par des tuiles creuses maçonnées, et qui se recouvrent comme celles des pans de toit. Le dessous du joint des arêtes creuses ou noues, est garni d'une feuille de plomb ou de zinc qui fait l'office d'une chaudière, et qui reçoit l'eau de toutes les tuiles contiguës et la porte au point commun des égouts des deux pans de toit.

Le tableau ci-après contient les dimensions et les poids des diverses sortes de tuiles, en usage jusqu'en 1840, et l'indication de la quantité de chaque espèce nécessaire pour couvrir un mètre carré, non compris le déchet, qui est ordinairement évalué à 4 ou 5 pour 100.

TABLEAU DES TUILES EN USAGE JUSQU'EN 1840.

DÉSIGNATION DE LA COUVERTURE.	DIMENSIONS.			POIDS D'UN CENT ⁽²⁾	QUAN- TITÉ EXISTANT DANS UNE SURFACE de 1 mètre.		
	Longueur.	Larg. (1).	Épaisseur.				
	mèt.	mèt.	milli.	kilogr.			
Bardeaux ou tuiles en bois.....	{	de chêne.....	0,400	0,135	11	79	55
		de sapin.....	Id.	.	Id	37	Id
Tuiles plates en terre cuite (3).....	{	Gr. moule (fig. 3).....	0,311	0,230	16	196	42
		Petit moule.....	0,257	0,183	14	132	64
Tuiles rondes, <i>idem</i>	(Fig. 9).....	0,400	0,230	14	210	24	
Tuiles pliées, <i>idem</i>	(Fig. 10).....	0,455	0,160	11	150	40	
Tuiles flamandes, <i>idem</i>	{	Fig. 22.....	0,352	0,352	16	338	15½
		Fig. 23.....	0,352	0,400	16	391	15½
Tuiles romaines, <i>idem</i> (fig. 18 (4))..	{	Tegole.....	0,440	0,250	16	336	9½
		Canali.....	0,440	0,217	16	200	9½
Tuiles italiennes, <i>idem</i>	(Fig. 27) (5).....	0,325	0,325	14	384	9½	
Tuiles en fer coulé.....	(Fig. 26).....	0,380	(6)	4	282	14½	

(1) Les largeurs des tuiles courbes sont moyennes et développées.

(2) Les poids des tuiles en terre cuite sont calculés pour une même espèce de terre.

(3) Il entre dans un mètre carré de couverture en tuile plate : pour le grand moule, 7 lattes et 132 grammes de clous à lattes ; pour le petit moule, 9 lattes et 100 grammes de clous.

(4) Ces tuiles sont employées ensemble. Les plus grandes de cette espèce sont celles des Thermes de Caracalla, à Rome ; elles ont 0 m. 65 de longueur (Rondlet).

(5) Leurs dimensions sont cotées non compris leurs rebords de 13 millimètres.

(6) Largeur développée ; la largeur en place, environ 217 millimètres.

Actuellement, on fait usage, à Paris surtout, de tuiles plates grand moule de Bourgogne et de Montereau. Celles de Bourgogne sont préférées. Les tuiles d'autres provenances, qui se rapprochent du petit type Bourgogne, sont désignées sous le nom de tuiles de pays; elles sont un peu plus petites que ces dernières et moins estimées.

La tuile grand moule Bourgogne a 0^m,30 de long sur 0^m,25 de largeur avec 0^m,015 d'épaisseur; elle pèse 2^k,4 et il en faut 37 par mètre carré; celle du petit moule a 0^m,94 sur 0^m,195 avec 0^m,015 d'épaisseur, pesant 1^k,32; il en faut 64 par mètre carré.

Ces dimensions varient un peu d'une fabrique à l'autre : ainsi on en trouve du type grand moule 0^m,31 sur 0^m,23 avec 0^m,0157 d'épaisseur (42 tuiles par m. q.), et celles du petit moule ont 0^m,257 de long sur 0^m,183 de largeur avec 0^m,014 d'épaisseur (64 par m. q.). La tuile fabriquée à Pont-sur-Yonne, marquée *Bq*, a 0^m,20 sur 0^m,22 avec 0^m,01 d'épaisseur, pesant 2^k,250. Elles sont un peu plus petites et plus minces que les tuiles de Bourgogne. Elles pèsent davantage, et sont plus brunes que ces dernières.

Les tuiles plates se gauchissent souvent à la cuisson; on utilise les changements de forme en leur donnant des destinations spéciales sur une toiture. Lorsque la tuile est arquée en dessus dans le sens de sa largeur, elle est dite *coffine*, si elle est arquée en dessus dans le sens de sa longueur, on la nomme *pendante*. Les coffines et les pendantes sont employées pour remédier aux irrégularités du lattis et du chevronnage. Si une tuile est arquée par en dessous (c'est-à-dire présentant sa convexité à l'intérieur du côté du lattis), on dit qu'elle est *gambardière*, et elle est dite *gauche à gauche* ou *gauche à droite*, suivant que son aile gauche ou droite est relevée. Les gambardières et les demi-gauches sont utilisées à former les *dévers* le long des *rives* pour rejeter les eaux à une plus grande distance.

Tuiles anciennes, plates et creuses, comparées aux tuiles nouvelles.
La tuile plate ancienne utilise seulement les 11/30 de sa surface totale et la tuile creuse les 2/5; mais toutes ces tuiles sont d'une fabrication facile; elles se taillent très-aisément et se prêtent aux raccords des noues, des arêtières et des rives obliques; sous ce rapport elles sont économiques, et tous les déchets provenant de la taille sont utilisés au calage. Leur seul incon-

venient est dû à leur poids très-considérable, qui oblige à un solivage dispendieux. Pour ce qui concerne les tuiles anciennes, la couverture en tuiles plates exige une pente deux fois et demie aussi prononcée que celle de la tuile creuse.

Dans l'étude des tuiles nouvelles, très-nombreuses et très-variées, on a eu surtout pour objet la diminution du poids; ce qui a permis de réduire beaucoup l'équarrissage des pièces de charpente des combles. On est arrivé à réduire le poids des couvertures de moitié et même dans une plus grande proportion, en diminuant l'épaisseur des tuiles et en ménageant des nervures tendant à leur donner une résistance même supérieure à celle des anciennes tuiles à épaisseur uniforme.

Nous allons passer en revue les types principaux de tuiles nouvelles (1). On peut rapporter les nombreuses variétés de tuiles à quatre types principaux, suivant leurs formes ou dispositions générales.

- 1° Tuiles rectangulaires à joint vertical continu.
- 2° Id. id. discontinu.
- 3° Tuiles losangiques régulières.
- 4° Id. irrégulières.

Exemples de TUILLES RECTANGULAIRES A JOINT VERTICAL CONTINU. — La tuile *Gilardoni*, pl. XL bis, fig. 1 et 2, est la dernière modification de ses inventeurs (MM. Gilardoni frères, à Altkirch, Haut-Rhin), qui en ont fabriqué deux autres modèles dont un vers 1847. La partie découverte est les $\frac{3}{4}$ de sa surface totale. Le joint vertical est un emboîtement fait par retombée du couvre-joint dans la cannelure longitudinale. Une cannelure horizontale C de 0",03 de large, ménagée à la partie supérieure de la tête de la tuile, permet à l'eau de s'écouler dans la cannelure du joint vertical qui suit la pente du toit, fig. 2.

Le rebord horizontal et inférieur de la tuile est rainé en larmier, comme

(1) Ce qui suit est extrait de la *Revue de l'architecture et des travaux publics*, d'une série d'articles très-détaillés de M. Détain, à l'obligeance duquel nous devons tous les documents pratiques.

l'indique la coupe sur l'axe. Une saillie ou baguette éloignée de ce rebord de 0^m,07, tombe par assemblage dans une cannelure correspondante du rebord de tête et empêche l'infiltration des eaux. Nous avons donné un seul exemple des tuiles Gilardoni, mais on en a fabriqué d'autres qui sont du même inventeur et plus anciennes, notamment : M. E. Müller, à Paris, et M. F. Fox, à Saint-Geais-Laval; ce dernier a même modifié la tuile précédente. Ces tuiles sont employées à Paris, Lyon, Marseille et dans l'est de la France.

Tuile de MM. Mar et Leprévost, fig. 3 et 4, pl. XL bis. Elle présente deux larges cannelures *C*, *C* demi-circulaires séparées par une nervure verticale *N* formant baguette. Lorsque les tuiles sont en place, les cannelures *C*, *C*, fig. 3, forment des surfaces en rigoles destinées à l'écoulement des eaux. À la gauche de la tuile se trouve un rebord *R* et à sa droite un couvre-joint *J* vertical formant une baguette plus grosse que la saillie médiane. En bas et en haut de la tuile sont des rebords qui s'assemblent en joint horizontal; aux revers, deux crochets et deux nervures.

Les mêmes fabricants ont modifié leur tuile : joint horizontal par simple recouvrement; crochets supprimés; la tuile est retenue par un clou qui passe dans un trou préparé. D'autres fabricants font des tuiles analogues.

Tuiles pannes ou tuiles flamandes, répandues surtout dans le nord de la France. Nous donnons deux exemples de ces tuiles, fig. 5 et 6, tuile Gérard; fig. 7 et 8, tuile Mosselman et Comp., remarquables par leur simplicité de forme.

TUILES RECTANGULAIRES A JOINT VERTICAL DISCONTINU. Fig. 9 et 10, pl. XL bis. *Tuile Gilardoni*. Cette tuile est la première qui ait été fabriquée à Altkirch; actuellement elle est tombée dans le domaine public. Elle se fabrique telle qu'elle a été inventée par :

- Ses inventeurs à Altkirch;
- MM. Jolibois à Déviller (Vosges);
- Victor, Petit et Comp., à Rambervillers (Vosges);
- Vaultrin, à Saulny-les-Metz (Moselle);
- Le comte de Pourtalès, à Saint-Gyr-sous-Dourdan (Seine-et-Oise);
- Mad. veuve Champion, à Jouars-Pont-Chartain (Seine-et-Oise).

Ainsi que la fig. 9 l'indique, la tuile présente au milieu de son dessus

un losange en saillie ou nervure; à sa partie inférieure, un triangle saillant ayant pour effet d'éloigner les eaux du point de jonction du joint vertical avec le joint horizontal.

Cette tuile peut être considérée comme un type que l'on a beaucoup modifié. On peut voir, fig. 15, la tuile *Guével* qui est une de ces modifications. Le triangle de base est moins accentué que dans la tuile fig. 9; de plus la disposition du couvre-joint de la tuile fig. 15 est inverse de celle fig. 9. La tuile *Guével* est la seule qui porte son couvre-joint *C* à gauche; ce qui est favorable pour la pose, parce que le couvreur commence ordinairement le travail à sa gauche. Il y a d'autres tuiles qui sont peu différentes de la précédente.

TUILES LOSANGIQUES RÉGULIÈRES. *Tuile Courtois*, à Paris, fig. 11 et 12, pl. XL *bis*. Elle est de forme carrée, de 0^m,27 de côté et en surface découverte laissant des carrés de 0^m,23 sur 0^m,23, d'où il résulte une surface découverte très-grande; aussi elle est très-avantageuse, et donne un faible poids par mètre superficiel de couverture; mais à côté de cet avantage, l'écoulement des eaux qui se fait suivant la direction oblique des joints, ne s'y fait pas aussi bien que dans la direction de la plus grande pente du toit; de plus, l'abondance des eaux est plus grande aux points mêmes de jonction *J*, fig. 11; ce qui est une condition fâcheuse. En général, les tuiles losangiques sont inférieures aux tuiles rectangulaires; elles exigent une plus forte pente. Comme dispositif de dessin, la tuile *Courtois* paraît écrasée, parce que la diagonale de cette tuile, dirigée suivant la pente du toit, est plus petite en perspective que l'autre diagonale, qui reste horizontale.

MM. *Ducroux* père et fils ont modifié la tuile *Courtois* en l'allongeant dans le sens de la pente du toit; voir la fig. 16, qui représente cette tuile portant nervure au milieu, qui augmente sa solidité, mais aussi son poids. La fig. 17 est une tuile d'ornementation plus petite (des mêmes fabricants) et destinée à de petits pavillons.

La fig. 18 est un autre spécimen de tuiles d'ornementation losangiques régulières de MM. *Mar* et *Leprévost* (à Bourbonne-les-Bains).

Tuiles losangiques irrégulières. Nous donnons fig. 13 et 14, pl. XL *bis*, la tuile de *Josson* (grand modèle), puis fig. 19 et 20, les tuiles de MM. *Ch. Demimuid* et *Comp.*, à Paris, dont la dernière est à double face,

c'est-à-dire qu'elle peut être posée indifféremment dans les deux sens. Il existe quelques autres modèles de tuiles losangiques et l'on sent qu'on peut les modifier suivant les effets qu'on veut produire à l'extérieur. Toutes ces tuiles, à dessins variés, sont surtout décoratives, mais elles sont inférieures aux tuiles rectangulaires.

Nous donnons ci-après un tableau contenant les dimensions et les poids des tuiles principales qui se fabriquent en France.

TABLEAU DES TUILLES PRINCIPALES (employées en France).

DÉSIGNATION ET PROVENANCE DES TUILLES	DIMENSIONS DE CHAQUE TOILE.				COULEUR	PRIX du millier à l'usine.	POIDS du mètre carré compris le lattis.		NOUVE de toiles par mètre carré de toiture.	PENTE des toits (minimum).
	en surface totale.		en surface découverte.				Tuiles sèches.	Tuiles moillées.		
	hauteur.	largeur.	hauteur.	largeur.						
Plaque Bourgogne grand moule.....	0 ^m 30	0,25	0,41	0,25	Rouge pâle moucheté	95 fr. à Paris	88 ^k	96	3/4	
Id.	0,24	0,195	0,08	0,24	de taches noires.	id.	86	92	1/1	
Creuse Bourgogne grand moule.....	0,37	0,19	0,25	0,105	Rouge.	100 id.	90	98	1/2	
Id. petit moule.....	0,37	0,16	0,28	0,105	Id.	100 id.	100	110	1/2	
{ Gilardoni à Altkirch.....	0,42	0,23	0,33	0,20	Id.	125	90	95	2/5	
{ Mar et Leprévost (Bourbonne-les-Bains).....	0,40	0,27	0,35	0,24	Id.	150	92	95	2/5	
{ Gérard (à Montbrechain, Aisne).....	0,24	0,26	0,22	0,19	Id.	60	54	58	3/4	
{ Mosselman et C ^e (Saint-Lô, Manche).....	0,23	0,22	0,25	0,18	Id.	80	34	38	3/4	
{ Gilardoni (à Altkirch, à Devillers).....	0,38	0,23	0,33	0,20	Id.	125	39	45	1/2	
{ Guével (aux Corvées, écart de Lay Saint-Christophe).....	0,40	0,23	0,33	0,19	Id.	120	50	54	1/2	
{ Courtois à Paris.....	0,36	0,26	0,30	0,20	Jaune (cont. naturelle) Rouge artificiel	200 à Paris.	14	46	3/4	
{ Ducreux, grand modèle (St-Symphorien).....	0,38	0,22	0,32	0,20	Jaune pâle.	100	30	35	7/10	
{ Id. petit modèle. (Sabuc-et-Loire).....	0,23	0,21	0,24	0,17	Id.	80	40	46	1/1	
{ Mar et Leprévost (Bourbonne-les-Bains).....	0,38	0,18	0,25	0,18	Rouge.	50	48	53	3/4	
{ Fosson, grand modèle (Anvers, Belgique).....	0,40	0,28	0,32	0,28	Rouge vil. Gris artificiel.	125 à Paris.	51	56	3/5	
{ Id. petit modèle. Id.	0,28	0,19	0,22	0,19	Id.	120 id.	38	42	3/4	
{ Demimuid, ogivaux (Commercy, Meuse).....	0,34	0,17	0,28	0,17	Rouge.	40	47	51	3/5	
{ Id. double-face Id.	0,40	0,21	0,33	0,21	Id.	50	35	37	3/5	

§ 2. *Couvertures en carton.*

On a fabriqué en différents temps, et l'on fabrique encore, notamment en Suède et en Russie, du carton auquel on donne les noms de *carton-pierre* et d'*ardoise artificielle*, pour être employé à la construction des couvertures, soit en grandes pièces, soit sous forme d'ardoises. Les feuilles de ce carton, passées au laminoir, sont composées de craie ou de substances bolaires liées par une pâte de papier collée; on les enduit d'un mucilage huileux qui les pénètre et les rend imperméables à l'eau; on les pose avec des clous en cuivre, on mastique les joints avec du mastic de vitrier, et enfin on peint la couverture à l'huile.

Lorsque ce carton est bien façonné, il est mince, uni, dur, imperméable et incombustible, et surtout très-peu pesant; il n'exige que des charpentes légères. Malgré ces avantages, il n'a pas pu obtenir la préférence sur nos couvertures en tuiles et en ardoises naturelles.

§ 3. *Couvertures en mastic bitumineux.*

Le mastic bitumineux, pour couvertures en terrasses sur charpentes, s'emploie sur une épaisseur de 13 à 18 millim., en carreaux de 0^m,33 à 0^m,50 de côté, ou en feuilles de 0^m,65 à 1 mètre de large sur une longueur de 2^m,60 à 2^m,92 (1). Ce mastic est un mélange fait à chaud de goudron, de poix ou de bitume, et d'une matière calcaire réduite en poudre extrêmement fine. On préfère les matières calcaires aux matières siliceuses et aux argiles cuites, parce qu'elles font mieux corps avec le bitume. Les carreaux sont moulés dans des châssis, les feuilles sont coulées dans des formes en sable fin sur une table, ou coulées sur de la toile et même sur du papier.

On ne donne à ces sortes de couvertures que la pente nécessaire à l'écoulement de l'eau; elles sont établies sur des planchers formés de planches jointes à rainures et languettes, ou sur des lattes avec un hourdis en plâtre et un enduit uni.

On coule dans les joints des carreaux et dans ceux des feuilles, le même mastic fondu pour les souder. En général, ces couvertures sont d'une exécution difficile; elles réussissent mal lorsqu'elles sont exposées à des variations de température trop grandes : exposées en été à l'ardeur

(1) Une plaque de mastic bitumineux d'un mètre carré, sur un millimètre d'épaisseur, pèse 2^k.057.

du soleil, elles causent dans le bois une excessive chaleur et le détériorent; de plus, le bitume s'évapore à la longue, il ne reste plus qu'une matière terreuse. Dans les lieux humides, il arrive quelquefois que la poussière calcaire abandonne le bitume pour absorber l'eau, le mastic est alors décomposé et ne sert plus à rien.

III.

COUVERTURES EN PIERRES NATURELLES.

§ 1. *Couvertures en ardoises* (1).

Les ardoises proviennent de la division d'une pierre feuilletée du genre *schiste*, qu'on trouve en très-grande masse dans diverses contrées. Le schiste ardoise de bonne qualité se laisse fendre en grands feuillets minces et droits, lorsqu'il est fraîchement extrait de la carrière. Les ardoises doivent être assez compactes pour ne point absorber beaucoup d'humidité. On juge qu'elles sont bonnes, lorsque étant restées longtemps plongées dans l'eau, elles n'en absorbent que $\frac{1}{50}$ de leur poids. Elles sont d'une qualité supérieure quand elles n'en absorbent que $\frac{1}{70}$. On emploie cependant des ardoises qui retiennent de l'eau jusqu'à $\frac{1}{10}$ de leur poids; mais elles sont d'un mauvais usage; elles ont peu de consistance lorsqu'elles sont mouillées et les gelées qui succèdent aux temps pluvieux les délitent.

Les pyrites qui se rencontrent dans les ardoises, en se décomposant à l'air, hâtent leur destruction et les rendent difficiles à couper.

Il y a des carrières d'ardoises dans presque tous les pays. Les principales ardoisières exploitées en France sont celles d'Angers (Maine-et-Loire), de la Ferrière et de Saint-Lô (Manche), de Rimogne, Rocroy, Sainte-Barbe, Société du moulin Sainte-Anne et Fumay, dans les Ardennes; celles de Bretagne à Chattemoune, à Renazé et à Port-Launoy; celles de Saint-Julien-en-Marienne (Savoie); au pied des Pyrénées et dans une chaîne des Cévennes.

Les ardoises d'Angers sont gris foncé tirant sur le bleu; celles des Ardennes, vertes, et celles de Fumay, violettes.

(1) L'ardoise paraît devoir son nom au lieu d'où on l'a tirée pour la première fois; les uns veulent que ce soit de l'Artois ou des Ardennes (*Arduennae*), d'autres du pays d'Arde (*Ardestia*) en Irlande. Au x^e siècle les Gaulois commençaient déjà à se servir d'ardoises.

La dureté de l'ardoise augmente avec sa compacité et sa sonorité; mais les ardoises très-denses sont cassantes.

Les expériences de Blavier constatent que la résistance de l'ardoise à la rupture augmente plus rapidement que l'épaisseur de l'ardoise.

Ainsi, les épaisseurs étant 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 millimètres, les résistances sont : 8, 35, 50, 90, 120, 150, 170.

On a observé depuis longtemps que les ardoises se brisent souvent sans cause connue; on peut attribuer cet effet à une dilatation inégale, due, sans doute, à la structure particulière de l'ardoise, qui n'est pas homogène.

Le vent brise souvent les ardoises d'une couverture en les soulevant et détermine leur rupture suivant la ligne des deux clous qui la fixent sur le lattis; l'action du vent augmente avec les dimensions des ardoises.

Le mode d'attache des ardoises a une grande importance. On fait usage de clous en fer, en zinc, en cuivre, en fer galvanisé, en fer cuivré.

Le fer s'oxyde rapidement; le cuivre est cher; le zinc est peu employé, parce qu'il pénètre difficilement dans le lattis. Le clou zingué et le fer cuivré ne sont pas tout à fait inoxydables. On distingue trois sortes de clous en fer : le *clou forgé*, qui est le plus cher et de meilleur emploi; le *clou mécanique*, moins bon et meilleur marché; enfin la *pointe* qui est plus économique que les deux autres, mais de qualité médiocre.

L'ardoise présente plus ou moins de facilité à être taillée, suivant sa provenance. Ainsi, l'ardoise d'Angers est plus facile à tailler que celle des Ardennes, qui est cassante et très-dure.

Les ardoises s'emploient le plus ordinairement avec une forte pente, parce qu'elles se désagrègent rapidement par l'humidité; conséquemment, si l'on veut compter sur une longue durée, il est indispensable qu'elle sèche vite.

On fait descendre rarement la pente des toits au-dessous de 35° à 45°; cependant il existe des exemples d'inclinaison plus faible : 0°,25 par mètre. Avec les grandes ardoises on peut diminuer la pente, parce que les joints étant moins nombreux, les chances d'infiltration diminuent.

Les ardoisières fournissent les ardoises destinées à la couverture sous des formes et avec des dimensions déterminées. On peut les diviser en deux grandes catégories : les *ardoises ordinaires* et les *ardoises modèle anglais*. Ces dernières sont pour la plupart plus grandes que les ardoises ordinaires, leur épaisseur surtout est plus grande.

Nous donnons ci-après le tableau des ardoises d'Angers les plus employées à Paris :

TABLEAU DES ARDOISES D'ANGERS (1).

DÉNOMINATION des ARDOISES.	DIMENSIONS en millimètres.			POIDS de 1040 ardoises.	PUREAUX en millimètres	NOMBRE d'ardoises par m. carré de couverture.	PRIX des 1040 ardoises aux ports de chargement	PRIX du mille en magasin à Paris.	
	Hauteur.	Largeur.	Épaisseur.						
Ardoises ordinaires.	1 ^{re} carrée grand modèle.	324	222	2,1 à 3	490 ^a	110	12	35 ^t	52 ^t
	1 ^{re} id. demi-forte...	297	216	2,1 à 3	420	100	47	32	48
	1 ^{re} id. forte	id.	216	2,5 à 4	560	100	47	32,50	51
	2 ^o id. forte	id.	195	2,1 à 3,5	410	100	52	27	»
	Grande moyenne forte.	id.	180	2,1 à 3,5	400	100	55	25	»
	Petite moyenne id.	id.	162	2,1 à 3,5	360	100	62	23	»
	3 ^o carrée 3 ^o flamande.	270	162	2,1 à 3,5	340	90	69	17	»
	3 ^o carrée ordinaire.	243	180	2,1 à 3,5	310	80	72	16	»
	4 ^e carrée ou cartonnée.	216	162	2,1 à 3,5	260	70	88	13	28
	Ardoises Poil taché...	297	168	2,1 à 4	450	100 moy.	60 moy.	21,50	»
	non Poil roux n ^o 1.	270	141	2 à 4	310	90	78	12	»
	échantil- Poil id. n ^o 2.	216	108	2 à 4	220	80	115	7	»
	lonnées. Heridelle...	380	108	2 à 4	430	variable.	»	11	»
	Ardoises Gie écaille...	296	198	2,5 à 4	520	100	50	38	54
	taillées Pte écaille...	230	132	2,5 à 4	240	80	94	18	33
à la mé- découpée...	300	170	2,5 à 4	300	100	60	40	55	
Modèles anglais	N ^o 1....	640	360	4,5 à 6	3100	280	9,92	205	300
	2....	608	360	4,5 à 6	2900	265	10,48	188	280
	3....	608	304	4,5 à 6	2450	265	12,4	158	230
	4....	558	279	4,5 à 6	2020	240	14,92	122	180
	5....	508	254	3,5 à 5	1540	215	18,31	95	150
	6....	458	254	3,5 à 5	1330	190	20,70	81	130
	7....	406	203	3,5 à 5	920	165	29,85	70	100
	8....	355	203	3,5 à 5	710	140	35,21	60	80
	9....	355	177	3,5 à 5	630	140	40,32	49	70
	10....	305	165	3,5 à 5	470	115	52,63	37	52,50

Les grandes dimensions des ardoises, *modèle anglais*, sont mises à profit dans quelques systèmes spéciaux de couverture, comme il sera indiqué ci-après.

Les diverses ardoisières font des modèles correspondant à ceux d'Angers, mais dont les dimensions sont différentes. Les unes donnent 1040 et d'autres 1050 ardoises pour le mille. A Paris, les ardoises sont vendues au mille.

(1) Ce tableau est emprunté à la *Revue générale de l'architecture et des travaux publics*, vol. 1862, qui donne des tableaux analogues pour toutes les ardoisières de France.

Emploi des ardoises. Elles sont attachées chacune par deux clous sur chaque latte. Les lattes pareilles à celles employées pour les couvertures en tuiles sont espacées de milieu en milieu du tiers de la hauteur des ardoises; elles sont clouées en liaison sur quatre chevrons. Pour consolider le lattis, on cloue, au-dessous des lattes et entre les chevrons, des contre-lattes. Pour se dispenser de contro-lattes, on se sert souvent de lattes de sciage dites voliges, qui ont 0^m,013 d'épaisseur, et 0^m,16 à 0^m,19 de largeur. Dans les pays où le bois est commun, on préfère les lattis ou planchers pleins en feuillet de chêne de 0^m,013 ou en planches de sapin de 0^m,027 d'épaisseur. Les planches et les feuillots sont toujours posés suivant les horizontales du toit. On ne les met jamais suivant sa pente, parce que l'usage étant d'attacher les ardoises par deux clous à chacune, placés sur une ligne parallèle au bord supérieur, les variations hygrométriques du bois les feraient fendre.

L'arrangement des ardoises est le même que celui des tuiles et des bardeaux.

La fig. 4 contient les détails de la construction d'un toit en ardoises. Sur la droite, est un profil de la pente du toit par un plan vertical. A gauche, est une projection sur un plan parallèle au toit. *a*, Pannes; *b*, chevrons espacés de quatre à la latte; *c*, lattes; *d*, contre-lattes. Les couvreurs se servent d'un outil crochu nommé *contre-lattoir*, pour tenir la *contre-latte* en dessous des lattes, et soutenir le coup du marteau. *e*, plancher en Planches jointives; *f*, ardoise. Le couvreur perce les trous de l'ardoise avant de l'attacher; il frappe à la place où chacun doit être placé avec la pointe de son marteau, l'ardoise étant soutenue sur une petite enclume en forme de T, terminée au bas par une pointe piquée dans un chevron à portée des mains.

La fig. 5 est une ardoise vue à plat.

Les fig. 7 et 8 montrent des formes qu'on donne quelquefois au bout inférieur des ardoises, dans la vue d'alléger la couverture, et souvent pour former des dessins et même des chiffres et des lettres qui servent de décoration.

Quoique les ardoises soient coupées aux ardoisières suivant les différentes dimensions d'usage, avant de les monter sur les toits pour les employer, les couvreurs les retaillent pour dresser leurs côtés et les mettre d'échantillons réguliers et uniformes. Ils les coupent par la percussion de la partie tranchante du manche de leur marteau, le bord à couper étant appuyé sur l'enclume en forme de T.

L'ouvrier couvreur trie dans la masse des ardoises des *fortes* et des *fines*; les premières sont réservées pour la partie inférieure du toit, et les secondes pour la partie supérieure.

De même que pour les tuiles, les ardoises *coffines* et *pendantes* sont utilisées pour couvrir les parties irrégulières du toit.

On a soin de laisser les épanfrures (ou limites frangées de l'ardoise) en dehors, surtout celle de base qui reçoit l'eau, parce que ces irrégularités pomperaient l'eau dans les parties recouvertes d'ardoises.

Lorsque les ardoises sont placées sur voligeage, en général ce voligeage est uniforme : voliges de peuplier de 2^m,10 de long sur 0^m,11 à 0^m,13 de large avec 0^m,015 d'épaisseur, espacées entre elles de 0^m,04 et fixées sur le chevron par deux clous. Chaque ardoise est de même fixée par deux clous sur le voligeage, en commençant par l'égout jusqu'au faitage, en suivant des lignes horizontales; à cet effet, on bat à chaque rangée, avec un cordeau blanchi, un trait qui limite la partie découverte de l'ardoise.

Nous indiquons, pl. XL *ter*, fig. 1, 2, 3, 4 et 5, les dispositions des ardoises de divers modèles. Une bonne disposition de toiture en ardoise à signaler est celle des Ardennes, où l'on donne un peu de creux à la toiture depuis le faitage jusqu'à l'égout, ce qui permet de faire bien *pincer* chaque rangée horizontale d'ardoise sur la rangée inférieure.

On obtient ce creux, qui est environ d'un centimètre de flèche par mètre de ligne de plus grande pente du toit, en tendant un cordeau depuis la sablière jusqu'au faitage; on le laisse former une flèche suffisante qui sert à régler les pannes et aussi les chevrons.

Pose des ardoises, modèle anglais. Pl. XL *ter*, fig. 6 et 7.

Les voliges de sapin sont chanfreinées à sifflet; elles ont 0^m,08 de largeur et des épaisseurs de 0^m,02 pour les numéros 1, 2 et 3; 0^m,015 pour les numéros 4 et 6; 0^m,02 à 0^m,01 pour les derniers numéros.

Elles sont fixées chacune avec deux pointes sur le voligeage. L'ardoise ne touche la volige que par sa ligne d'arête supérieure, ce qui favorise l'aérage.

§ 1. Raccords des ardoises avec les arêtières.

Pour former les raccords, on taille les ardoises en suivant des directions qui se rapprochent par degrés de celle de l'arêtière, afin que l'œil ne soit pas choqué par une transition brusque d'inclinaison et aussi de manière que les joints ne permettent pas les infiltrations.

Nous donnons dans les fig. 8, 9, 10 et 11 quelques exemples de raccords sous diverses inclinaisons. Les lignes ponctuées indiquent le contour des ardoises.

Ardoises formant des toitures ornées. On peut obtenir diverses figures agréables à l'œil, en taillant et disposant les ardoises de diverses manières et même obtenir des changements de couleur dans les dessins que l'ardoise elle-même peut faire sur la toiture, en mélangeant des ardoises bleues d'Angers avec des ardoises vertes des Ardennes ou l'ardoise violette de Fumay.

On se guide, pour obtenir ces dessins, de lignes tracées au cordeau sur le voligeage. On peut obtenir des hexagones formant eux-mêmes par leurs dispositions de grandes figures carrées ou losangiques très-variées, fig. 26.

Système Hugla (de Bordeaux). Ce système, qui date de 1861, a pris une certaine extension. L'ardoise n'est plus clouée, elle est fixée à l'aide d'un crochet en métal inoxydable, formé d'une branche dirigée suivant la pente du toit, et percée d'un trou en tête pour la fixer sur le comble et repliée à sa partie inférieure comme une agrafe retenant l'ardoise; de plus, une petite traverse faisant corps avec la branche passe sous l'ardoise et la rend solidaire en empêchant tout mouvement latéral.

La tête de l'ardoise s'arrête à quelques centimètres du point où se trouve cloué le crochet sur le voligeage, et il existe un intervalle qui permet le remplacement facile de l'ardoise; à cet effet, après avoir fait tomber l'ardoise cassée, on engage la nouvelle ardoise entre les crochets latéraux jusqu'à ce que le bord inférieur de l'ardoise touche l'agrafe inférieure, l'ardoise redescend ensuite dans cette agrafe. Comme les fig. 12 et 13 le montrent, les ardoises ne se joignent pas, ce qui permet à l'air de les sécher rapidement.

Le même système peut être appliqué à un lattis tout en métal. La disposition est celle des fig. 14 et 15, pl. XL *ter*. On peut supprimer le lattis, fig. 16 et 17.

Ce système offre de grands avantages lorsqu'il est combiné avec les grandes ardoises, modèle anglais, parce qu'il permet de supprimer le lattis, d'éloigner les chevrons en remplaçant la grande dimension des ardoises en travers et d'augmenter la surface découverte des ardoises. La partie recourbée du crochet inférieur s'élargit, afin d'augmenter la surface de pression. Voir les fig. 18 et 19, qui représentent cette disposition très-économique pour les hangars, les usines où la ventilation est nécessaire.

On peut faire servir les extrémités des agrafes à la décoration de la

couverture, en les agrandissant et leur donnant la forme d'étoile, de losange, etc. (voir les fig. 20, 21, 22, 23, 24 et 25).

Somme toute, ce système est bon et présente de grands avantages : grande solidité, aérage facile, diminution des charpentes, utilisation d'une grande surface d'ardoise. Il permet aussi l'usage des ardoises denses et cassantes des Ardennes et celles des ardoisières de l'Ouest, puisque leur dureté, qui est un obstacle pour le percement des trous, devient, au contraire, une condition de grande durée; mais le système Ugly exige de grands soins dans la distribution des agrafes.

Faitage des toitures en ardoise. Le faite d'un toit en ardoise est couvert par des tuiles creuses maçonnées comme celui d'un toit en tuiles plates, ou avec des feuilles métalliques attachées au faitage en bois. Quand on veut économiser le métal et la tuile, on forme le faite en *lignolet*, c'est-à-dire qu'on fait dépasser d'environ 0^m,027 les ardoises du pan le plus exposé au vent, au-dessus des ardoises de l'autre pan. Les arêtes saillantes ou *arêtiers* sont couvertes le plus souvent par des tuiles creuses maçonnées comme celles du faite, ou par une feuille métallique pliée suivant l'angle dièdre de l'arétier. Cette précaution est utile lorsque les pans de toits ont peu de pente; mais on se contente souvent d'un joint très-serré sur l'arête formée par le rapprochement des ardoises des deux pans coupés en biais, ce qui forme de chaque côté le *tranchis*, et quelquefois on place sous le purcau de l'ardoise une petite bavette en plomb pliée sur l'arétier, dite *oreille de chat*, pour empêcher l'eau de pénétrer par le joint. Quant aux arêtes creuses, elles sont toujours garnies d'une feuille de métal suffisamment large pour former la noue et contenir l'eau versée par les pureaux des ardoises coupées aussi en biais et formant les *tranchis* des deux côtés, à quelque distance du fond de l'arête creuse.

Si l'on excepte les couvertures métalliques, celles en ardoises sont les plus belles; elles ont l'avantage d'être légères, et par conséquent de ne point exiger de fortes charpentes pour les soutenir.

Dans les incendies, elles ont l'inconvénient d'éclater, parce qu'elles ne résistent point à l'atteinte d'une violente chaleur. Dans quelques villes d'Allemagne bâties en bois, l'usage en a été défendu, parce que leurs éclats incandescents propageaient au loin les ravages du feu, sur des toits en chaume.

§ 2. Couvertures en pierres plates.

Les couvertures en tuiles de marbre et de pierre, comme les anciens

les employaient, ne sont point en usage sur les toits en charpente. Dans plusieurs contrées (1), on extrait des carrières des pierres plates qui acquièrent de la dureté en séchant. On leur donne improprement le nom de *lave*; dans quelques départements, on les nomme *lausses*. On s'en sert pour couvrir les maisons. On ne peut les employer que sur des toits très-peu inclinés, où elles sont retenues par leur poids. On les taille en carreaux égaux de 0^m,43 à 0^m,49 de côté; on les réduit à une épaisseur uniforme qui ne peut être moindre que 0^m,014, et qui peut atteindre 0^m,027, suivant leur qualité. On les pose sur un lattis de fortes lattes de chêne attachées sur les chevrons avec des clous ou avec des chevilles; leur écartement est égal à la longueur des carreaux, sauf la quantité dont les rangs se recouvrent, qui est de 0^m,054 à 0^m,08, de façon que chaque carreau porte par le haut sur une latte, et par le bas sur le carreau du rang inférieur, à peu près comme on arrange les tuiles. On peut aussi poser les carreaux ou laves diagonalement, comme les tuiles de la fig. 37, sur des lattes dont l'écartement est égal à la moitié de leur diagonale, moins un large recouvrement. Lorsque les pierres sont bien calées, elles font une couverture très-solide. Il en existe qui, quoique faites depuis cent ans, sont en très-bon état.

Pour les couvertures rustiques, on les emploie sans les tailler, en ayant seulement le soin de placer dans les mêmes rangs celles d'une même épaisseur.

§ 3. Couvertures en terrasses.

On fait des couvertures en terrasses sur charpentes, dites à l'italienne, avec des pierres plates dures. On établit d'abord une aire épaisse en maçonnerie de bon ciment sur un hourdis plein entre les solives d'un plancher; on pose les dalles ou pierres plates sur une chape en ciment gras, leurs joints sont mastiqués avec le même ciment; on ne donne à la surface de cette couverture que la pente nécessaire pour l'écoulement de l'eau. Pour que ce genre de couverture réussisse, il faut y mettre le même soin qu'en Italie. On en avait fait des essais à Paris qui n'ont point eu de succès, parce que l'humidité ayant traversé la pierre, elle a fait jouer les bois et le plâtre dont on avait composé l'aire, les joints se sont ouverts et ont livré passage aux filtrations.

On fait aussi des couvertures en terrasses d'une seule pièce sur charpente, sans y employer de pierres, au moyen d'une chape en ciment gras

(1) En Bourgogne, en Champagne, en Franche-Comté, dans le Béarn et en Savoie.

bien damé, ou d'un mortier de chaux et de ciment également bien damé, étendu sur l'hourdis des bois, et enduit, lorsqu'il est parfaitement sec, d'une composition hydrofuge.

Le moyen de faire réussir ces couvertures, c'est de rendre inflexibles les charpentes sur lesquelles on les établit, tant par la force et le rapprochement des bois, que par des hourdis pleins et très-serrés entre les poutres et solives. Les couvertures en terrasses ont l'inconvénient d'être très-pesantes; elles ne conviennent point dans les pays où il pleut beaucoup et où il gèle.

IV.

COUVERTURES EN MATIÈRES MÉTALLIQUES.

Les couvertures métalliques sont de deux espèces; elles sont composées de petites pièces arrangées comme les tuiles, ou de grandes feuilles assemblées par divers moyens. On y emploie le plomb, le cuivre (1), le zinc, la tôle de fer, le fer coulé et même le fer-blanc.

§ 1. *Couvertures en tuiles de fer coulé.*

On s'est servi pour la première fois de tuiles en fer coulé, au palais Bourbon à Paris, à la vérité sur un comble voûté en briques; mais on les a depuis employées sur des combles en charpentes. Les couvertures en fer coulé pèsent beaucoup moins que celles en tuiles plates de terre cuite, vu l'arrangement qu'on leur donne. Elles portent au besoin chacune deux tenons pour les accrocher aux lattes, ou des clous pour les clouer. Elles se couvrent d'un rang à l'autre du cinquième de leur hauteur, et dans leurs joints montants elles se croisent au moyen d'un rebord, comme la coupe fig. 26 les représente. On en fabrique aux forges de la Grâce de Dieu, près Besançon, et aux forges du Creusot.

On a couvert avec ces tuiles les deux pavillons de la grille de l'Observatoire, à Paris.

Malgré la durée des tuiles en fer coulé et leur légèreté, qui permet de réduire les équarrissages des principales pièces de charpente d'un toit, leur usage ne paraît pas se propager, vu que les couvertures en tuiles plates de terre cuite coûtent quatre à cinq fois moins cher.

(1) La couverture antique du Panthéon, à Rome, était en bronze; il en reste encore quelques débris autour de l'ouverture supérieure.

On fait aussi des tuiles en tôle de fer, en cuivre laminé et même en plomb, qui s'accrochent à des lattes par un rebord plié, ou que l'on cloue comme les ardoises; mais l'obligation de les poser en recouvrement comme les tuiles triple leur poids, comparativement à l'emploi des mêmes métaux laminés en grandes feuilles.

§ 2. Couvertures en métaux laminés.

Les feuilles métalliques se posent sur toutes les inclinaisons, mais en général on donne le moins de pente possible aux combles qui doivent en être revêtus, afin de diminuer l'étendue des surfaces, parce qu'il en résulte économie de la matière métallique et des bois de charpente.

Les feuilles de métal sont appliquées sur un lattis de voliges à claires-voies, et mieux sur un plancher plein et bien uni ou sur un plafonnage en lattes et en plâtre (1).

Les toits se déchiraient, par l'effet des grandes variations de température, s'ils étaient continus et comme d'une seule pièce ou même par feuilles trop étendues (2).

On compose donc les couvertures métalliques de feuilles égales de dimensions moyennes, qui sont aussi plus maniables; on les assemble par rangs horizontaux et par rangs dans le sens de la pente du toit. Leurs joints montants sont formés en réunissant leurs bords, et en les roulant l'un sur l'autre en ourlets dirigés suivant la pente du toit, et plus ou moins serrés suivant la ductilité du métal et la nécessité de laisser plus ou moins de jeu aux variations de dilatation et de contraction. La fig. 28 est une coupe d'un de ces joints à dilatation libre, par un plan qui lui est perpendiculaire. L'épaisseur du trait du dessin représente dans cette figure l'épaisseur des feuilles de métal.

La fig. 29 est une coupe d'un autre joint à dilatation libre, couvert par une bague creuse formée d'une bande de métal pliée cylindriquement.

(1) On fait aussi le plafonnage en plâtre sur mailles ou treillages en fil de fer. Cette méthode, qui dispense des lattes en bois, n'est encore employée que sur des charpentes en fer; elle a besoin de l'épreuve du temps.

(2) Le plomb est le métal en table qui se déchire le plus aisément; il est pesant et il n'a pas toujours la raideur nécessaire pour glisser en se dilatant sur les planchers des toits. Lorsque les tables ont une grande étendue, sa dilatation le fait alors boursoufler en plis assez aigus, et comme les variations de température renouvellent ce mouvement aux mêmes places, le métal se fatigue et se déchire. On peut boucher les fentes avec de la soudure, mais il s'en forme de nouvelles à côté de celles qu'on a bouchées.

Dans les incendies, ce métal fond rapidement, et il coule sur ceux qui travaillent à ar-

Ce couvre-joint a l'avantage qu'on peut le retirer en le faisant glisser suivant sa longueur, pour visiter les joints ou remplacer au besoin quelques feuilles.

Les joints horizontaux sont formés en croisant les feuilles les unes sur les autres de 0^m,08 à 0^m,11 ; le bord supérieur de chaque feuille est attaché sur le lattis ou plancher par des clous ou des vis noyés, recouverts par le bord de la feuille du rang au-dessus, qui est maintenu par des agrafes. Pour les feuilles de cuivre et de zinc, les agrafes sont soudées sur la feuille inférieure, et elles reçoivent le bord de la feuille qui la recouvre, ou bien elles sont soudées sous la feuille de dessus, et s'introduisent sous la feuille recouverte. Alors elles ne sont point apparentes sur la couverture. Pour les couvertures en tôle de fer et en plomb, on retient les feuilles par le bas au moyen de crochets de 0^m,027, en fer plat, dont les queues, proportionnées pour leur longueur à la largeur du recouvrement, s'étendent en dessous et sont clouées sur les chevrons en dessus du lattis.

On n'emploie dans la construction des couvertures en cuivre et en zinc que des clous, des vis et des agrafes du même métal que les feuilles, afin de prévenir les dégradations qui résulteraient du galvanisme produit par le contact de métaux différents.

On étame les feuilles de cuivre en dessous pour boucher les fissures que le laminage occasionne quelquefois. Il est inutile de les étamer en dessus ni même de les peindre, parce que la rouille verte ou *patine*, qui se forme par le contact de l'air, est indissoluble par l'eau de pluie et qu'elle sert de vernis qui conserve le cuivre, pourvu qu'il ne soit pas exposé au frottement de quelque corps étranger (1). Il en est de même du zinc, sur lequel il se forme une couche de sous-oxyde grisâtre très-dure, qui le préserve de l'action de l'air et de l'eau.

Autrefois on blanchissait les couvertures en plomb, en étamant le dessus pour leur donner plus d'éclat ; on a abandonné cet usage dispendieux et inutile. Dans le dernier siècle, on décorait encore les couvertures

rêter les progrès du feu. Le zinc coule aussi dans le même cas, mais étant en feuilles plus minces, il est moins abondant.

Le plomb est très-promptement corrodé par l'urine des chats qui fréquentent les toits, et par des eaux sales qu'on jette dans les cheneaux. Enfin, il se laisse percer souvent de nombreux trous de 0^m,004 de diamètre par les insectes qui se logent et se nourrissent dans le bois sur lequel il est appliqué.

(1) Les feuilles de cuivre qui couvrent la coupole de la Halle au blé de Paris, sont étamées des deux côtés, parce qu'elles sont très-minces, celles qui couvrent la Bourse ne le sont point, parce qu'elles sont plus épaisses.

de reliefs en plomb que l'on dorait quelquefois. Cet usage est également abandonné.

En Prusse, en Pologne, en Russie et en Suède, on emploie fréquemment le fer laminé sur les combles; les grands bâtiments des établissements et colonies militaires en sont couverts; les Anglais s'en sont servis aussi sur des hangars. On pose le fer laminé sur une sorte de grillage en bois formé de triangles de 5 à 8 centimètres d'équarrissage, espacées de 18 à 20. Les feuilles sont retenues par des agrafes attachées aux triangles du grillage, ce qui évite de les percer avec des clous.

On préserve la tôle de fer de la rouille en plongeant les feuilles rougies au feu dans un bain d'huile de baleine, et l'on peint les couvertures d'une couche de peinture à l'huile qu'on renouvelle tous les 8 ou 10 ans. Les couvertures en tôle de fer réussissent très-bien dans toutes les contrées du Nord. On en a fait des essais à Paris; mais il est à présumer qu'elles n'auront pas le même succès dans nos climats. Notre atmosphère, trop chargée d'eau, oxyde très-prompement le fer, malgré les peintures dont on l'enduit. Le fer-blanc, dont on couvre les dômes et les clochers en Pologne et en Prusse, y conserve son éclat, tandis qu'en France il le perd très-rapidement.

Les Anglais ont inventé des couvertures en tôle cannelée, qui dispensent des chevrons, et qu'ils ont employées sur les hangars de leurs docks. Nous avons représenté, fig. 30, par une projection parallèle, un profil et une coupe suivant *L M*, une partie de couverture exécutée suivant ce mode. Les feuilles de métal *a* sont cannelées à la machine, et les cannelures sont dirigées suivant la pente du toit, ce qui empêche les feuilles de plier; ces feuilles sont unies entre elles par des clous à vis. Il suffit, pour la dilatation en long, qu'elles soient attachées au faite et retenues librement par quelques agrafes aux pannes *b*; leurs cannelures laissent un libre jeu à la dilatation latérale.

On a fabriqué aussi des feuilles cannelées cintrées, qui peuvent être employées à former des combles cylindriques.

Le tableau ci-après présente les dimensions des feuilles métalliques que le commerce fournit pour la construction des couvertures, et leur poids par feuilles et pour l'unité de surface.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DIMENSIONS DES FEUILLES			SURFACE de chaque feuille.	POIDS d'une feuille.	POIDS du mètre carré.
	Longueur.	Largeur.	Épaisseur en millimètres.			
(1) Cuivre laminé n° 20	1 ^m ,407	1 ^m ,137	0,68	1,60	7,79	6,31
Id. n° 25	id.	id.	0,75	id.	12,24	7,64
(2) Zinc laminé n° 10	2 m.	0,50	0,51	1,00	3,45	3,45
		0,65		1,30	5,35	
Id. n° 11	2 m.	0,80	0,60	1,60	7,50	4,05
		0,50		1,00	4,05	
Id. n° 12	2 m.	0,65	0,69	1,30	5,30	4,05
		0,80		1,60	6,10	
Id. n° 13	2 m.	0,50	0,78	1,00	4,65	5,30
		0,65		1,30	6,10	
Id. n° 14	2 m.	0,80	0,87	1,60	8,50	5,95
		0,50		1,00	5,95	
Id. n° 15	2 m.	0,65	0,96	1,30	7,70	6,55
		0,80		1,60	9,50	
Id. n° 16	2 m.	0,50	1,10	1,00	6,55	7,50
		0,65		1,30	8,55	
Plomb en tablettes ou en feuilles	n° 1	8 ^m ,898	1 ^m ,950	3,38	7,60	304,00
	n° 2	id.	id.	4,50	id.	403,00
Tôle laminée	0 ^m ,70	0,50	1,13	0,35	3,08	8,80

On peut laminer des feuilles de zinc plus faibles ou plus fortes que celles du tableau ci-dessus en longueur, largeur et épaisseur. Les n° 10 et 11 (zinc) sont rarement employés pour couvertures, parce que ces feuilles sont trop minces. Le n° 14 fait une bonne couverture. Les n° 15 et 16 sont souvent employés pour chéneaux.

(1) On trouve dans le commerce des planches de cuivre qui ont 5^m,85 à 6^m,50 de longueur sur 1^m,95 de largeur; mais les plus en usage pour les couvertures, sont celles des dimensions indiquées ci-dessus. Les planches de cuivre sont numérotées de 5 en 5 unités; le numéro de chacune indique son poids en livres, ce qui est basé sur ce que, dans les fabriques, une variation de 5 livres de poids répond à une variation de $\frac{1}{2}$ de point d'épaisseur à partir de la feuille d'une ligne d'épaisseur, pesant 75 livres, à laquelle on a donné le n° 75.

(2) La feuille de zinc n° 10 sert d'unité. On diminue l'épaisseur d'un demi-point par chaque numéro en dessous; on l'augmente d'un point par chaque numéro en dessus.

Nous donnons ci-après un tableau dont les principaux éléments sont tirés d'un Mémoire de M. le commandant Delmas, sur les couvertures des casernes et édifices, que nous avons déjà cité (a).

MATÉRIAUX.	BOIS DE CHARRP. à 100 f. le m. cub.	COUVERTURES.		DÉPENSES DE PREMIÈRE CONSTR.	ENTRETIEN ANNUEL.	DURÉE.	DÉPENSES AU BOUT DE 100 ANS.	
		surface	Prix du m ² . car.					
	<i>degrés.</i>	<i>m. cub.</i>	<i>m. car.</i>	<i>fr. c.</i>	<i>fr. c.</i>	<i>années.</i>	<i>fr. c.</i>	
Tuiles en terre cuite, plates à 45	0,090	1,02	5 65	18 15	0 025	150 (1)	2580 43	
<i>Id.</i> Creuses... {	à sec..... 21	0,064	1,06	7 05	13 87	0 02	100	1881 99
	maçonnées.. 31	0,070	1,06	7 70	15 16	0 02	100	2051 63
<i>Id.</i> à la romaine..... 21	0,091	1,06	»	»	0 02 (2)	100 (3)	»	
<i>Id.</i> de fer coul. {	du Creuzot.. 21	0,064	1,06	31 99	10 31	0 00	150 (4)	5300 77
	de la G. de B. 21	0,064	1,06	25 50	33 43	»	150	4036 00
Ardoises..... { 60	0,106	2,00	5 40	21 40	0 04	25	3613 12
 45	0,080	1,62	5 40	16 75	0 04	25	2349 93
Parties en plomb dans les couvertures ci-dessus.....	»	»	»	»	0 07	100	»	
Plomb de 1 ligne 1/2..... 21	0,064	1,06	24 00	35 11 (5)	0 00	100	4596 51	
<i>Id.</i> Sans grenier.....	0,080	1,00	21 00	32 00	0 00	100	3136 80	
Cuivre n° 20..... 21	0,045	1,06	23 22	30 70 (6)	0 00	100	4621 10	
<i>Id.</i> horizontale.....	0,080	1,00	23 22	31 22	0 00	100	3041 21	
Fer laminé, 1/2 ligne..... 21	0,045	1,00	13 75	20 13	0 00 (7)	100	2864 23	
<i>Id.</i> horizontale.....	0,080	1,00	13 75	21 75	0 00 (7)	100	2163 74	
Zinc n° 14..... 21	0,045	1,06	7 50	14 04	0 00	(8)	1843 84 c ^b	
<i>Id.</i> horizontale.....	0,080	1,00	7 50	15 50	0 00	(3)	984 (10)	
Mastic de bitume. horizontales... 0,080	1,06	11 50	19 50	(11)	(12)			
<i>Id.</i> avec carr. en terre cuite.... 0,080	1,06	14 00	22 00					

(a) Appréciation donnée par le colonel Emv en 1837.

(1) Les lattes ne durent que 10 ans.

(2) A Marseille, la dépense annuelle est de 10 centimes, à cause des ouragans.

(3) La durée sur charpente doit être moindre que sur les maçonnées des bâtiments antiques.

(4) On présume que les tuiles en fer coulé ne doivent pas avoir une durée plus longue que celle des tuiles en terre cuite.

(5) Compris 1 fr. 59 c. pour le plancher, et 1 fr. 63 c. pour 1 k. 20 de fer pour crochets.

(6) Compris 1 fr. 50 c. pour le plancher.

(7) L'entretien consiste dans le renouvellement de la peinture tous les 10 ans.

(8) On n'a pas pu constater certain sur la durée des couvertures en zinc, en usage seulement depuis 20 à 25 ans.

(9) Dans l'hypothèse d'un renouvellement au bout de 50 ans, 1550 fr. 85 c.

(10) Dans l'hypothèse d'un renouvellement au bout de 50 ans, 1967 fr. 75.

(11) Entretien dispendieux, très-varié.

(12) Durée très-bornée.

Aux appréciations précédentes, déjà anciennes, nous en ajouterons de nouvelles (1) qui établissent une comparaison entre les couvertures en tuiles, en ardoises et en zinc.

Le prix du mètre carré de couverture en ardoises est à peu près égal à celui du mètre carré de couverture en tuiles; il est moitié environ du prix correspondant de la couverture en zinc bien établie.

La main-d'œuvre est moins considérable pour la couverture en tuiles que pour celle en ardoises et moins encore pour celle en zinc. Elle peut devenir la même pour les trois espèces de couvertures, s'il y a de nombreux raccords.

La durée, sans réparation d'entretien des bonnes couvertures, est plus grande pour celles en zinc que pour celles en tuiles, et pour celle-ci plus que pour celles en ardoises. Lorsque les réparations deviennent nécessaires, leur importance est plus grande pour la couverture en ardoises, puis celle en tuiles que pour celle en zinc.

La couverture en tuiles nécessite un remaniement à bout, c'est-à-dire complet pour remplacer le lattis, tous les quinze, vingt ou vingt-cinq ans, plus ou moins, selon la qualité de ce lattis. La couverture en ardoises ne saurait supporter sans ruine un pareil remaniement.

La couverture en tuiles dure moins longtemps que la couverture en zinc.

Une couverture en ardoises peut durer 40 ou 50 ans et même au delà.

Le zinc a pris un développement considérable dans l'application qu'on en fait aux couvertures des maisons de Paris; mais le bon emploi de cette matière exige une étude toute particulière des propriétés spéciales du zinc. Nous allons rappeler les propriétés, qualités et défauts du zinc.

Les qualités du zinc : 1° Il se couvre à l'air d'une patine conservatrice qui le rend indestructible par décomposition chimique sous l'influence des agents atmosphériques;

2° Il permet l'emploi de grandes feuilles légères, faciles à travailler, devenant économiques et souvent nécessaires pour des combles très-plats.

L'avantage le plus sérieux qu'offre le zinc pour les couvertures, c'est sa légèreté. On emploie les feuilles de zinc dont l'épaisseur varie entre 0^m, 69 à 4^m, 4 et dont le poids par mètre carré varie de 4^k, 65 à 7^k, 5. Pour les travaux provisoires, on peut prendre la plus petite épaisseur. Pour les couvertures définitives, l'épaisseur la plus employée est celle de

(1) Voir la *Revue d'architecture et des travaux publics*, vol. de 1865.

0^m,87 (zinc n° 14), ce qui correspond par mètre carré à un poids de 54,95, et par mètre carré de surface couverte, y compris les recouvrements et les accessoires, 7 à 8 kil., tandis que les ardoises pèsent environ 25 kil. et les tuiles jusqu'à 85 kil. De plus, la pente des couvertures en zinc peut être très-faible. Il résulte de toutes ces conditions que les fermes et les murs d'une construction couverte en zinc n'ont à porter que le quart de la charge des couvertures en ardoises et le douzième de celle pour les tuiles; la couverture en zinc, malgré son prix élevé, est très-économique.

Défauts du zinc : 1° Il se ronge rapidement au contact des eaux ménagères et au contact de l'humidité par action électrique;

2° Il se dilate de 4 millimètre et demi par mètre pour une élévation de température de 50° et par suite se gauchit, se déforme sans revenir aux anciennes dimensions, parce que la dilatation est plus grande dans le sens du laminage que dans l'autre sens;

3° Il est bon conducteur du calorique et par conséquent il garantit mal les espaces couverts contre les basses ou hautes températures. Sa sonorité est aussi un grand inconvénient pour les personnes qui habitent sous les combles, parce que la grêle et la pluie le font bruire;

4° Il se salit désagréablement par l'oxydation, ce qui donne aux toitures un aspect de malpropreté;

5° Enfin, il peut devenir dangereux, parce qu'il communique aux eaux de pluie des propriétés nuisibles et empêche ainsi l'usage de ces eaux pour la boisson, ce qui est très-génant pour les pays mal pourvus d'eau potable.

Résumé des conditions du bon emploi du zinc. Malgré ce qui précède, le zinc est une excellente matière de couverture qui rend de très-grands services, mais dont l'usage exige des précautions particulières.

Il est nécessaire que le zinc soit de première qualité, bien laminé et souple au travail.

On l'emploie par grandes feuilles, telles que les fournit le commerce, de préférence aux feuilles de petite largeur, pour éviter la déformation sous l'influence de la dilatation inégale. Il est bon de réduire la longueur des feuilles, afin de diminuer le nombre des joints horizontaux.

Né pas se servir de zinc pour les chéneaux et les tuyaux destinés à l'écoulement des eaux ménagères et éviter tout contact entre le fer et le zinc.

Les chéneaux de peuplier ou de sapin seront préférés au chêne, et dans

les endroits où l'on sera forcé d'appliquer le zinc sur le plâtre frais, on aura soin de peindre au goudron ou au minimum les faces de contact ou d'interposer entre elles et l'enduit du plâtre, du papier bituminé.

Ne jamais poser le zinc sur le bois de chêne sans les isoler l'un de l'autre, à moins que ce bois ne soit parfaitement sec et à l'abri de toute humidité accidentelle, parce que l'humidité provoque dans le chêne la formation de l'acide tannique, qui attaque très-énergiquement le zinc.

Le zinc sera employé à dilatation libre; ne pas le clouer, si ce n'est dans des cas particuliers; on l'attachera avec des pattes du même métal, et partout où il est nécessaire d'obtenir un serrage bien résistant, avec des pattes en cuivre laminé; on lui ménagera, en outre, une place suffisante pour qu'il joue à l'aise de quelques millimètres par mètre en tout sens.

On pourra garantir les habitations sous le zinc des variations de température extérieure et contre le bruit de la pluie, en remplissant les faux planchers de liège, de sciure de bois, de vieux tan ou de matières légères, toutes matières mauvaises conductrices du calorique.

Ventiler les greniers et les toitures, d'abord pour ménager la charpente des combles et ensuite pour protéger le zinc contre l'humidité de condensation qui se produit abondamment sous le zinc.

Au point de vue de l'ornementation, le zinc n'offre pas beaucoup de ressources; il est surtout à sa place dans les faitages, les membrures, les arêtiers.

C'est après de nombreux tâtonnements que l'on est arrivé à bien employer le zinc. Primitivement, on soudait les feuilles de zinc les unes aux autres de toute part pour former les couvertures, ce qui empêchait la dilatation d'être libre; on dut y renoncer parce que la dilatation déterminait des boursouffures et des déchirures.

Couverture en zinc ondulé et cannelé. Les feuilles de zinc acquièrent une très-grande rigidité lorsqu'on leur donne la forme de cannelure; on peut même supprimer les chevrons et la volige.

On place les feuilles de zinc cannelées, qui ont ordinairement une largeur de 0^m, 80 et une longueur de 2^m, 25, à la suite les unes des autres, de manière que les ondulations ou cannelures se recouvrent de 0^m, 12.

On les fixe sur la charpente par des pattes en fer étamé et soudées en dessous de la feuille de zinc, et qui s'accrochent aux cornières si la charpente est en fer; si la charpente est en bois, on soude aux feuilles de la couverture des gaines en fer étamé dans lesquelles peuvent glisser

les pattes clouées sur les pannes en bois. Le zinc estampé est employé dans les édifices publics pour auvents, clochetons, crêtes, faitages, lucarnes, etc., en remplacement du plomb, qui est très-dispendieux, mais dont la durée est beaucoup plus grande.

Un grand nombre de tuiles en zinc ou en métal façonné ou estampé ont été inventées. Nous en indiquerons quelques-unes.

Tuile Le Bobe, fig. 27, pl. XL *ter*. Elle est à joint vertical continu, surface de 0^m,50 sur 0^m,325 ou 0^m,1625; sa surface découverte = 0^m,41 × 0^m,28 = 0^m,1148, soit environ 1/3 pour les recouvrements. Cette tuile porte à droite un ourlet et à gauche un relief. En s'assemblant, les tuiles voisines s'agrafent et forment des rouleaux dans le sens de l'écoulement de l'eau; elles s'agrafent aussi en formant des joints horizontaux. Une patte engagée dans l'agrafe de tête, et quelquefois une autre accrochant le relief de gauche, sont clouées sur le voligeage et déterminent ainsi la fixité de chaque tuile sur la couverture.

Cette tuile a été employée à la couverture du Musée d'artillerie à Paris.

Tuile Chibon, fig. 28 pl. XL *ter*. Elle est inférieure à la tuile Le Bobe; son emploi a été limité à des hangars. Sa face est relevée de nervures estampées, inclinées de droite et de gauche vers le milieu, à l'effet d'éloigner des joints verticaux l'écoulement des pluies.

Tuile Rabatel, fig. 29, pl. XL *ter*. Elle est en *tôle zinguée*; sa forme est losangique. Cette tuile a été employée pour couvrir la caserne Napoléon.

En général, les tuiles en zinc n'ont pas eu beaucoup de succès, parce que le grand nombre de joints détermine presque toujours des fuites. L'emploi du zinc en grande dimension est beaucoup plus rationnel.

Couverture en plomb. Le plomb exposé à l'air se recouvre, comme le zinc, d'une *patine* ou pellicule qui le préserve, mais moins bien que pour le zinc.

Le plomb est quatre fois moins résistant que le zinc à épaisseur égale.

Le laminage augmente sa ductilité.

Il est altéré rapidement au contact du plâtre humide et est attaqué vivement par l'acide pyroligneux du bois de chêne vert non flotté.

Dans les caves humides, il est attaqué par le salpêtre.

Il est perforé par des insectes.

Il se dilate de plus d'un millimètre 1/3 par mètre pour une élévation de température de 50°, ce qui exige certaines précautions pour son emploi dans les couvertures.

Le plomb est deux fois plus isolant pour une même épaisseur que le zinc.

Il faut qu'une couverture de plomb ait 3 millimètres d'épaisseur pour présenter la même résistance que le zinc n° 14, d'où il résulte qu'une couverture en plomb coûte de cinq à six fois le prix de celle en zinc.

Le plomb est bien supérieur au zinc comme aspect; la teinte noirâtre qu'il acquiert par son exposition à l'air convient aux monuments.

Notre-Dame de Paris, les Invalides sont couverts en plomb. L'ancienne couverture des Invalides avait 165 ans.

Le plomb sert à faire des terrasses, des chéneaux, des faitages, des membrons, etc. Il est par excellence la matière qui sert à faire les raccords de couverture en ardoises et en tuiles.

On l'emploie sous forme de tuiles plates pour flèches, dômes de petites dimensions. On l'emploie en grandes feuilles pour la couverture des parties courbes. On l'attache d'un seul côté avec des pattes en fer, et mieux en cuivre, afin que la dilatation ne le fasse ni se déchirer, ni se plisser. On le soude soit avec de l'étain, soit avec lui-même (soudure autogène) (1).

(1) Voir la *Revue d'architecture et des travaux publics* (1866) pour l'emploi très-détaillé du plomb dans les raccords de couverture.

CHAPITRE XIII.

COMBLES.

§ 1. *Pentes des toits.*

Les combles peuvent être classés en plusieurs catégories, suivant les formes et les combinaisons des surfaces de leurs couvertures. Nous ne traiterons, dans ce chapitre, que de ceux dont les toits sont composés de surfaces planes, ou de surfaces cylindriques, ayant leurs génératrices horizontales et qui n'ont pas plus de deux égouts.

Quelle que soit la génération géométrique des surfaces courbes des combles, on compare toujours ces surfaces aux toitures planes, qui sont les plus simples, pour juger l'efficacité de leurs pentes et leurs combinaisons par rapport aux façades des bâtiments. C'est donc seulement de la pente des toitures planes que nous nous occuperons.

La pente qu'on donne aux toits a pour objet de rejeter hors des espaces couverts l'eau de pluie et celle des neiges, et de les faire écouler rapidement, afin que les matériaux de la couverture puissent sécher. Blondel, dans son *Cours d'architecture*; Rondelet, dans l'*Art de bâtir*; M. Quatremère de Quincy, dans le *Dictionnaire d'architecture*, de l'Encyclopédie, et M. le commandant Dehmas, dans le Mémoire cité, ont recherché les causes différentes des pentes qu'on donne aux toits.

Les terrasses des pays méridionaux, et les combles élevés des contrées du Nord, ont fait penser que le climat seul déterminait l'inclinaison des toits. Blondel ajoute que la grâce qu'on croyait donner aux édifices et le besoin de multiplier les logements dans les combles, avaient porté à leur donner une grande élévation. Rondelet veut que l'inclinaison des toits soit arbitraire et que le goût seul soit en droit de la fixer, toutes les fois que l'imperfection des matériaux laisse cette latitude. M. Quatremère de Quincy, adoptant la première opinion, propose de subordonner rigoureusement l'inclinaison des toits à la latitude; ainsi, il voudrait qu'à partir de l'équateur, où la pente serait nulle comme la latitude, elle s'élevât de

3 degrés par chaque climat géographique (1) pour les couvertures en tuiles creuses, en ajoutant à l'inclinaison trouvée 3 degrés de plus pour les combles couverts en tuiles romaines, 6 pour ceux couverts en ardoises, et 8 pour ceux couverts en tuiles plates. M. Delmas a traduit la règle proposée par M. Quatremère de Quincy en une formule plus simple, de laquelle il résulterait que la pente d'un toit devrait être égale à l'excès de la latitude du lieu où il serait construit sur celle des tropiques, ce qui suppose que la pente des toits serait nulle dans la zone torride, et qu'elle ne commencerait à s'élever qu'à partir des tropiques (2). Mais il fait remarquer que cette formule donnerait pour la latitude de 25 degrés des toits dont la pente ne serait que de 1 degré 32 minutes, et que sur un toit si peu incliné, les tuiles auraient leur égout en sens contraire et qu'elles rejetteraient l'eau en dedans du toit.

M. Delmas fait observer aussi que l'on trouve souvent dans le même lieu des couvertures de toutes sortes de pentes, et que les deux formules ne vérifient pas celles que l'expérience a déterminées pour la plupart des lo-

(1) Les géographes, d'après Varenius (1), médecin hollandais, plus connu comme savant géographe, partagent l'espace compris entre l'équateur et chaque cercle polaire en 24 zones ou climats, dont les limites sont déterminées par une différence d'une demi-heure sur la durée du jour au solstice d'été sur chacune. Ainsi, partant de l'équateur, où la latitude est zéro et la durée du plus long jour de 12 heures, ils fixent les latitudes des cercles de séparation, comme elles sont indiquées dans le tableau ci-après, vis-à-vis des chiffres romains, qui marquent l'ordre des climats finissant à ces latitudes, jusqu'au vingtième qui se termine au cercle polaire, où la durée du plus long jour est de 24 heures.

I.	8° 25'.	VII.	45° 29'.	XIII.	59° 58'.	XIX.	65° 24'.
II.	36° 25'.	VIII.	49° 1'.	XIV.	61° 18'.	XX.	65° 47'.
III.	23° 50'.	IX.	51° 58'.	XV.	62° 25'.	XXI.	66° 6'.
IV.	30° 30'.	X.	54° 27'.	XVI.	63° 22'.	XXII.	66° 20'.
V.	36° 28'.	XI.	56° 37'.	XVII.	64° 6'.	XXIII.	66° 28'.
VI.	41° 22'.	XII.	58° 29'.	XVIII.	64° 49'.	XXIV.	66° 30'.

(2) La latitude des tropiques est de 23° 28'.

(1) *Geographia naturalis*; in-12. Amstelodani, Elsev., 1671.

calités. En effet, si dans quelques contrées situées vers le V^e climat, les inclinaisons des toits peuvent paraître avoir été fixées d'après la règle de M. Quatremère de Quincy, comme à Aix, Lyon, Saintes, etc., dans un plus grand nombre d'autres pays, son application donne pour résultats des inclinaisons fort différentes de celles que l'expérience y a mises en usage. Elles sont trop faibles pour les climats moyens, et trop fortes pour les climats les plus bas, dans lesquels on fait même des toits en terrasses horizontales. Nous donnons, dans le tableau ci-dessous, quelques exemples du désaccord de cette formule avec ce qui se pratique pour les villes situées sous des climats de latitudes moyennes.

VILLES.	CLIMATS.	INCLINAISONS résultant de la règle de M. Q. DE Q. (1).	ESPECE de COUVERTURES.	INCLINAISONS USITES.
St.-Petersbourg.....	XIV ^e	40° — 24°	Tôle de fer.	18° à 20°
Copenhague.....	XI ^e	32 — 48	Ardoises.	45 à 60
Hambourg.....	X ^e	37 — 48	Tuiles plates.	45 à 60
Bruxelles.....	IX ^e	31 — 30	<i>Id.</i>	60°
		32 — 36	<i>Id.</i>	45° à 60°
Paris.....	IX ^e	30 — 36	Ardoises (2).	33 à 45
		24 — 36	Tuiles creuses.	18 à 25
Colmar.....	IX ^e	32	Tuiles plates.	60°

On peut vérifier ce désaccord pour un plus grand nombre de villes, vu que dès qu'on connaît la latitude d'un lieu, on sait dans quel climat géo-

(1) Ces inclinaisons sont extraites du tableau des 130 villes pour lesquelles M. Quatremère de Quincy a calculé les pentes des toits pour des couvertures en tuiles romaines, en tuiles creuses, en ardoises et en tuiles plates, suivant la règle qu'il a proposée.

(2) Les nefs de l'église de Sainte-Genève, à Paris, sont couvertes en ardoises sous une pente de 26 degrés $\frac{1}{2}$. La différence est en sens contraire de celle des toits d'ardoises usités à Paris.

graphique il est situé, d'après le tableau qui fait partie de la note précédente. Il est à remarquer en outre que, pour les climats élevés, la règle donne des pentes sous lesquelles les tuiles creuses glisseraient infailliblement.

M. Delmas attribue la raideur des combles dans nos climats aux habitudes que les Gaulois avaient prises sous leurs toits primitifs de chaume et de bardeaux, dont ils imitèrent les formes et la pente lorsqu'ils commencèrent à faire usage d'ardoises et de tuiles plates. La nature des matériaux propres à la construction des couvertures, suivant les industries et les ressources du sol, encore plus que toutes autres causes, me paraît avoir déterminé l'inclinaison des toits. Nous voyons cette inclinaison uniforme dans toute l'étendue des lieux où les matériaux sont de même espèce. Les couvertures en chaume et en bardeau, qui remontent à l'époque des premières habitations, exigeaient des toits surhaussés, afin que l'eau ne pût les traverser; lorsque la découverte des ardoises dans le sol permit de les substituer au bardeau, la même raideur des couvertures dut être conservée pour produire le même résultat, et les tuiles plates, imitations des ardoises, ne durent encore rien changer à la raideur des combles.

C'est ainsi que, dans une grande partie de la France, des Pays-Bas et de l'Allemagne, où les ardoises naturelles et les tuiles plates sont les principaux matériaux des couvertures, les toits sont très-élevés; tandis qu'en Russie, où l'on fait un fréquent usage de la tôle de fer, les toits sont aussi bas que dans l'autre partie de la France et de l'Europe méridionale où l'on ne fabrique que des tuiles romaines et des tuiles creuses. Lorsque les Grecs et les Romains substituèrent aux couvertures en bois des tuiles de pierre et de marbre, leur industrie étant plus avancée que celle des peuples du Nord, et leur habileté dans le travail étant plus grande, ils s'affranchirent immédiatement de la servile imitation du bardeau, qui ne pouvait être placé sur les pentes douces des toits auxquels devaient s'ajuster les élégants frontons de leurs temples; ils inventèrent les tuiles à rebords et les tuiles creuses, dont l'usage s'est étendu dans tout le Midi.

Le régime de l'atmosphère influe bien moins sur la pente des toits qu'on ne serait tenté de le croire; car, à l'exception de la considération des neiges, qu'on donne comme motif des pentes raides et de l'emploi des tuiles plates, l'usage des tuiles creuses conviendrait également bien aux pays pluvieux. Elles font d'excellentes couvertures entre le 36° et le 45° degré de latitude,

dans quelques contrées où l'automne amène des pluies plus abondantes peut-être qu'aucune de celles des autres pays où il pleut le plus; et ces tuiles n'ont pas à l'égard des neiges, des vices aussi graves que ceux qu'on leur suppose, puisque dans quelques régions du Midi très-élevées, où il tombe beaucoup de neige, on continue à s'en servir sans inconvénients. Mais, malgré les avantages qu'elles présentent de charger moins les bâtisses et de n'exiger que des charpentes moins fortes, la mode des toits surbaissés ne pourra pas s'introduire là où les tuiles plates et les ardoises sont en usage, à cause de l'impossibilité et de l'inutilité même de substituer la fabrication des tuiles creuses à l'habitude invétérée de celle des tuiles plates et de l'exploitation des ardoises, qui s'emploient les unes et les autres sur des toits de même pente, ce qui convient à l'uniformité des habitations. Ce serait en vain aussi qu'on tenterait de nouveau de faire adopter dans l'Ouest et le Midi l'usage des tuiles plates. Il leur faut de trop massives charpentes, et l'élévation des toits qui en seraient couverts donnerait aux bâtiments un aspect trop lourd qui ferait des disparates choquantes avec les toits surbaissés et leurs tuiles creuses.

Plusieurs constructeurs ont pensé que la limite inférieure de l'inclinaison qu'on peut donner aux toits couverts en ardoises sous un ciel aussi pluvieux que celui de Paris est de 33 degrés $\frac{1}{2}$. C'est une pente dont la hauteur est à peu près les $\frac{2}{3}$ de la base; mais ils n'ont probablement été conduits à ce résultat que par des considérations qui supposent le mouvement uniforme de l'eau et la simple capillarité dans les joints, abstraction faite des causes qui peuvent influencer sur la durée des matériaux, sur celle des charpentes et sur leur stabilité.

En recherchant les degrés d'inclinaison qui conviennent aux différentes espèces de couvertures d'après les matériaux dont on les compose et les moyens de l'art pour la construction des combles, on trouve des limites dont les pentes en usage s'écartent peu.

La durée de l'ardoise dépend en grande partie de la raideur des toits. Si la pente est trop douce, la capillarité retient beaucoup d'eau qui remonte entre les doubles surfaces des joints d'application ou de recouvrement; les ardoises alors ne s'égouttent point ou ne sèchent que fort lentement; elles se détériorent en peu de temps; ainsi, sous ce rapport, plus la pente est rapide, mieux elle vaut. D'un autre côté, la surface d'un toit décompose l'action du vent, la partie de cette action qui agit en remontant la pente tend à refouler l'eau dans les joints, à soulever et même arracher les ar-

doises; cette action est d'autant moins forte que le comble a encore une plus grande raideur, sans dépasser cependant l'inclinaison sous laquelle la résistance des ardoises et celle des clous qui les attachent l'emportent sur la force du vent. Cette inclinaison n'est pas partout la même; elle varie d'une contrée à une autre comme l'intensité des vents les plus forts qui s'y font sentir; elle ne peut être que le résultat de l'expérience; elle est contenue entre 33 et 45 degrés, et c'est dans ces limites que sont les pentes des toits en usage à Paris et dans les départements voisins. Sur nos côtes occidentales qui sont à proximité des carrières d'Angers, lorsqu'on surbaïsse les toits en ardoises pour rapprocher leur pente de celle usitée pour les tuiles creuses, il arrive fréquemment que le vent dépouille les pans de toit qui lui sont exposés; une pente de 45 degrés est celle qui paraît préférable. Dans les départements septentrionaux, dans ceux du nord-est et dans la Belgique, où les ardoisières voisines de la Meuse ont rendu l'usage des ardoises plus fréquent qu'ailleurs, et l'on pourrait même dire général, la pente des toitures a été portée à 60 degrés, par la crainte que, sous une moindre inclinaison, la neige qui adhère aux couvertures en s'y amassant chargât trop les combles, malgré les robustes équarrissages qu'on donne aux bois de leurs charpentes (1).

L'inclinaison des toits couverts en tuiles plates varie dans les limites de 40 et 60 degrés, parce que les tuiles, n'étant pas clouées comme les ardoises, c'est la pression qu'elles exercent les unes sur les autres par leur poids, qui fait qu'elles résistent au vent.

L'angle de 45 degrés est celui qui convient le mieux pour les combles couverts en ardoises et en tuiles plates, sous le rapport de l'emploi de leur capacité intérieure. Sous une inclinaison plus douce, il faut des bois d'un plus fort échantillon, leur cube augmente la dépense un peu plus qu'elle n'est diminuée par leur raccourcissement et par la réduction de la surface de la couverture; mais le plus grave inconvénient, c'est de perdre pour les portées moyennes l'usage des greniers, qui peuvent n'avoir plus assez de hauteur pour qu'un homme s'y tienne debout. Sous une inclinaison plus raide, l'accroissement de la surface des couvertures, l'augmentation de la longueur des bois et la nécessité d'employer dans les charpentes un plus

(1) On évalue le poids d'une couche de neige au $\frac{1}{6}$ de celui d'une couche d'eau d'égale épaisseur.

grand nombre de pièces, fait monter la dépense plus haut que la réduction des équarrissages ne la fait diminuer, et la capacité intérieure acquiert une hauteur inutile, à moins qu'elle ne puisse être partagée en deux étages de logements ou de greniers, ce qu'on ne pratique plus guère aujourd'hui. La raideur des pentes des toits augmente la durée de leurs charpentes, parce que, plus les couvertures sont raides, plus elles sèchent promptement, et mieux elles garantissent les bois des influences de l'atmosphère. La raideur des toits est aussi la conséquence d'autres considérations, dont nous parlerons lorsque nous serons entré dans les détails de la construction des combles.

À l'égard des tuiles romaines, des tuiles creuses et de toutes celles qui sont portées sur des latis ou planchers sans y être retenues autrement que par l'effet de leur pesanteur, la raideur des toits ne peut pas être plus grande que l'angle sous lequel les matériaux glisseraient, et pour que leur stabilité soit au-dessus de l'équilibre, cette inclinaison ne doit pas excéder 27 degrés avec l'horizon.

La limite de l'inclinaison, à laquelle un comble ne doit jamais être abaissé, est celle sous laquelle les tuiles seraient horizontales; dans cette position, elles verseraient autant d'eau en dedans qu'en dehors et ne garantiraient nullement l'espace couvert.

Pour ce qui regarde les combles qui portent des couvertures métalliques, leurs toits peuvent n'avoir que la très-faible pente qui suffit à l'écoulement de l'eau, vu qu'on dispose les joints des feuilles de métal en bourrelets très-élevés, de façon que, quelle que soit l'abondance des pluies, l'eau ne peut pas pénétrer dans l'intérieur; cependant, dès que ces couvertures doivent être soutenues par des charpentes de quelque étendue, l'inclinaison des toits dépend uniquement des moyens que l'art de la charpenterie peut employer pour la construction des grands combles.

Nous avons réuni, sur la fig. II de la planche XLI, les indications graphiques des pentes qu'on donne à différentes sortes de combles portant des toits plans et à deux égouts; sur la gauche, un quart de cercle donne en degrés la mesure des angles que les pentes des toits font avec l'horizon; sur la droite, les rapports des hauteurs des combles avec leurs demi-portées sont marqués sur une échelle verticale.

On compare ordinairement les hauteurs des combles aux largeurs entières dans ceuvre des bâtiments qu'ils couvrent; il nous a paru préférable de les comparer aux demi-largeurs, vu que les expressions des rapports sont plus

simples, qu'elles conviennent également aux combles à deux égouts, à ceux d'un plus grand nombre d'égouts et aux appentis, et parce que cela est plus conforme à l'usage général de représenter la pente d'une ligne et celle d'un plan par le rapport du sinus au cosinus de l'angle qu'ils font avec l'horizon, c'est-à-dire la tangente de cet angle.

TABLEAU

RELATIF A LA FIGURE 11 DE LA PLANCHE XLI, CONCERNANT LES PENTES DES TOITS.

PROFILS DES TOITS.	INCLINAISONS DES PANS.	HAUTEURS DES TOITS.	RAPPORTS DES HAUTEURS AVEC LES DEMI-PORTÉES.	ESPECES DE COUVERTERES ET DE COMBLES.
$A a B$	<i>deg.</i> 9—28	$C a$	$\frac{1}{2}$	Temples antiques.
$A b B$	14—2	$C b$	$\frac{1}{3}$	
$A c B$	18—26	$C c$	$\frac{1}{4}$	Tuiles creuses, tuiles romaines, métal.
$A d B$	26—33	$C d$	$\frac{1}{5}$	
$A e B$	33—41	$C e$	$\frac{2}{5}$	Ard. Limite inf. de l'incl.
$A f B$	36—52	$C f$	$\frac{3}{4}$	
$A g B$	(45— \times)	$C g$	1	Chaume, bardeau, ardoises, tuiles plates à crochets.
$A h B$	(60— \times)	$C h$	$\sqrt{3}$	
$A i B$	63—27	$C i$	2	Tuiles plates à crochets.
$A j B$	(67—30)	$C j$	$2\frac{2}{3}$	Brisis... (C. à la Mans., le cercle div. en
$x g x$	(22—30)	$q g$	$\frac{1}{2}$	F. Comb. (p. fig. 8, pl. XLII
$A k B$	68—12	$C k$	$2\frac{1}{2}$	Anciens châteaux; tuiles plates et ardoises.
$A l B$	71—34	$C l$	3	
$A m B$	(72— \times)	$C m$	$3\frac{1}{100}$	Brisis... (C. à la Mans., le cercle div. en
$x g x$	(27— \times)	$p g$	$\frac{1}{2}$	F. Comb. (p. fig. 7, pl. XLII
$A n B$	75—58	$C n$	4	Clochers.

NOTA. Les valeurs des angles comprises entre parenthèses sont données; les autres sont calculées par approximation.

Les nombres exprimant les hauteurs précédés d'un * sont calculés par approximation; les autres sont donnés.

§ 2. Toits à deux égouts.

Les bâtiments les plus simples sont élevés sur des plans rectangulaires, comme celui, fig. 13, pl. XLV, dont deux côtés sont plus longs que les deux autres. Un comble qui couvre un bâtiment de cette sorte est ordinairement composé de deux pans de toits, fig. 15, plans également inclinés, s'étendant d'un bout à l'autre, et répondant chacun à une des moitiés de la largeur de la bâtisse; ils s'appuient par le bas sur les deux plus longues parois, ils se rencontrent par le haut suivant une ligne ou arête horizontale *bd* qui constitue le *faîte* du comble. Ce genre de toit est dit à *deux égouts*. Un toit qui n'est composé que d'un seul pan ou qui n'a qu'un seul égout, comme celui profilé fig. 5, pl. XLVI, est dit en *appentis*. Les extrémités des pans d'un toit peuvent dépasser celles d'un bâtiment terminées en pignons, pour les abriter par une saillie égale à celle formée par leurs bords inférieurs, et qui a pour objet d'écartier leurs égouts des parois longitudinales.

Les saillies des toits sont soutenues par des corniches ou simplement par les prolongements des faitages, des pannes, des sablières et des chevrons au-delà des murs, comme dans les fig. 2, 3, 4 de la planche XLV, qui se rapportent à des toits inclinés sous l'angle de 45°; et comme dans l'élevation, fig. 8, pl. LI, qui représente un toit à faible pente. La fig. 9, pl. XII, et les fig. 2, 3 et 4, pl. XLIII, présentent des détails de la disposition des pannes pour les deux cas (1).

Très-fréquemment les toits ne dépassent point les murs des pignons, parce que les bâtiments, n'étant point isolés, ces murs sont mitoyens avec d'autres propriétés sur lesquelles il n'est pas permis d'empiéter par des saillies ou par les égouts. Dans ce cas, les pans des toits couvrent simplement les murs de pignons sans aucune saillie au-delà, comme dans l'élevation fig. 6, pl. XLV, ou bien ils sont surmontés par les mêmes murs de pignons qui soutiennent les souches des cheminées, comme sur la fig. 1,

(1) Les corniches qui couronnent un bâtiment et qui peuvent être en bois, si le bâtiment est entièrement en bois, se plient aux pentes des pignons, fig. 11, pl. LI, ou à celles des frontons qui en forment les couronnements, fig. 9. La fig. 12 indique le tracé des corniches pour un fronton en bois. Les lignes qui dessinent la projection verticale de la cimaise *b c* de ce fronton, sont tracées par les points de la cimaise du profil de la corniche

même planche. Si les façades sont couronnées par des corniches qui ne s'étendent point sur les pignons, ces pignons ont la forme représentée par la fig. 6, pl. LI.

§ 3. Couvertures en pavillons, croupes et noues.

Lorsqu'un bâtiment est élevé en pavillon sur un plan dont les quatre côtés sont égaux, fig. 14, pl. XLV, on peut le couvrir par un toit à deux égouts, comme celui représenté en projection horizontale, fig. 16. Mais il peut arriver aussi qu'il n'y ait pas de motif pour faire deux de ses façades plutôt que les deux autres en pignons; on fait alors les quatre façades pareilles, c'est-à-dire toutes quatre en pignons, ou toutes quatre terminées horizontalement par le haut. Dans le premier cas, un toit à deux égouts devant répondre à chaque pignon, il en résulte pour le comble quatre toits à deux égouts, qui sont représentés en projection horizontale et vus par-dessus, fig. 13, pl. LXIV. Ce comble a deux faitages $a b, d e$, horizontaux se croisant au centre c , et répondant au sommet des pignons; et quatre arêtes crouses $c i, c o, c n, c r$, nommées *noues*, aboutissant aux angles.

sur l'arête verticale A , qui régnerait sur le devant du bâtiment s'il ne devait pas y avoir de fronton; ce qui donne à la cimaise rampante $b c$ une épaisseur différente de celle de la cimaise horizontale $a b$. Les largeurs des autres membres et moulures de la corniche rampante sont mesurées sur la verticale $x y$, et égales à celles des membres et moulures de la corniche horizontale mesurée sur la verticale $v z$. La partie de corniche horizontale, répondant au tympan du fronton, n'a point de cimaise, parce que le toit ne porte pas sur cette partie.

La fig. 13 donne le tracé de la corniche rampante A d'un pignon sans fronton. Les saillies des membres et moulures de cette corniche sont égales à celles des membres et moulures d'une corniche B qui s'étendrait horizontalement. Les écartements des lignes rampantes sont mesurées sur une verticale $x y$, et égaux aux hauteurs des membres et moulures de la même corniche B mesurée sur la verticale $v z$. Les rencontres des lignes verticales, parallèles à $A B$, et des lignes rampantes, parallèles à $A C$, donnent le profil rampant A de la corniche qui doit régner horizontalement sur les côtés du bâtiment perpendiculaires aux pignons. Les parties qui sont horizontales dans le profil B , sont rampantes dans la corniche A , suivant la pente du toit, et dans le prolongement des mêmes parties appartenant à la corniche rampante, dont le profil, pris par un plan vertical perpendiculaire au pignon suivant la ligne $x y$, est rabattu en B . Les mutules et les modillons d'une corniche rampante $b c$, fig. 12, doivent être aplomb sur ceux de la corniche horizontale $A B$. Quant à ceux de la corniche rampante, fig. 13, ils sont distribués sur une horizontale $A D$, par les divisions 1-2-3-4-5, etc., et relevés verticalement; leurs côtés sont verticaux et leurs dessous sont rampants sur le pignon, comme sur les façades latérales.

Pour le second cas, beaucoup plus simple et souvent préférable pour la bonté de la construction, les quatre façades portent chacune l'égout d'un pan de toit. Les quatre pans de toit qui en résultent sont représentés en projection horizontale, fig. 8, même planche, pour un pavillon carré, et fig. 10 pour un pavillon bâti sur un plan en losange. Ces deux combles forment chacun une pyramide quadrangulaire. Les quatre intersections des pans des quatre toits sont, dans chacun aussi, des arêtes saillantes; les pièces de bois de la charpente qui forment ces arêtes sont les *arêtiers*. Cette disposition des quatre pans d'un toit a été désignée sous le nom de *comble en pavillon* (1).

Lorsque la différence des côtés du plan d'un bâtiment n'est pas considérable, on forme encore le toit en pavillon. La fig. 11 de la pl. XLIV est la projection d'un comble établi dans cette hypothèse; les quatre pans du toit n'ont pas la même inclinaison : les pentes sont égales pour ceux qui correspondent à des façades parallèles.

On peut couvrir aussi en pavillon un bâtiment élevé sur un plan polygonal, figuré en projection horizontale sous le n° 18, pl. XLV.

La construction des toits en pavillon a été appliquée aux extrémités des bâtiments élevés sur des plans oblongs. Ainsi un toit principal à deux égouts *a b d e*, *c b d o*, fig. 17, pl. XLV, répondant à la plus grande dimension du plan d'un bâtiment, et qui en couvre la majeure partie, a été tronqué à ses deux extrémités par deux pans de toit chacun à un seul égout;

(1) Les quatre parties de combles à deux égouts, de la fig. 13, pl. XLIV, peuvent être combinées avec un comble en pavillon. La fig. 1, de la pl. XLIX, est une projection verticale et la fig. 2 une projection horizontale de cette combinaison, très-compiquée, composée de quatre arêtiers, quatre portions de faîtage et huit noues.

On peut couvrir un pavillon carré, présentant quatre pignons égaux, par une combinaison fort simple de quatre pans de toit formant pavillon; mais alors les arêtes, au lieu de répondre aux angles du pavillon, aboutissent aux sommets des pignons, et la position de chaque pan de toit est déterminée par les arêtes rampantes de deux pignons contigus. La fig. 3, de la planche L, est le plan d'un toit en pavillon établi ainsi sur pignons; la fig. 1 en est une projection verticale sur un plan parallèle à l'un des pignons, et la fig. 2 une autre projection verticale sur un plan parallèle à l'une des diagonales *a b* du plan. Cette combinaison de toits peut avoir lieu quel que soit le nombre des façades d'un pavillon, fig. 10, et si ce nombre est pair, on peut faire alternativement une façade avec fronton et une façade terminée horizontalement, de façon que pour un pavillon hexagonal projeté horizontalement, fig. 9, le toit présente trois pans qui donnent trois arêtiers *c a*, *c u*, *c e*, et trois des façades *o*, *u*, *v*, sont couronnées par des frontons. La fig. 4 est une projection verticale de ce toit en pavillon. Sur toutes ces figures, les hachures qui servent à faire distinguer les différents pans des toits sont tracées suivant leurs horizontales.

a b c, e d o, ces deux petits pans triangulaires forment, par leurs rencontres avec les *longs pans*, des arêtes *b a, b c, d e, d o*; on a nommé *croupe de pavillon* ou simplement *croupe* la forme du toit qui résulte, à chaque extrémité du grand comble, de l'établissement de ces petits pans de toit, à cause de sa ressemblance avec les croupes des montagnes ou celles des animaux (1). Lorsque le bout d'un bâtiment fait avec ses longues façades des angles droits comme en *a c*, la *croupe a b c* est *droite*. Si les angles sont inégaux comme en *e o*, la *croupe e d o* est *biaise*. Dans les localités où les combles sont très-élevés, les croupes font un effet moins désagréable que des pignons aigus. Partout elles sont préférables, même pour des toits dont les pentes sont très-douces, à des pignons sans décoration, et souvent leur établissement coûte moins que la maçonnerie d'un grand pignon.

Les grands édifices sont composés de plusieurs corps de bâtiment qui forment divers angles les uns avec les autres, et leurs extrémités se présentent ainsi sous divers angles aux rues et aux routes sur lesquels ces extrémités prennent les alignements de leurs façades. Le plus ordinairement les différents corps de bâtiment d'un même édifice ont leurs corniches supérieures au même niveau, et leurs combles de même hauteur se raccordent dans les points où les bâtiments se rattachent et se *novent* les uns aux autres. Nous avons représenté, fig. 8, pl. XLIV, la projection horizontale des combles d'un édifice composé de trois corps de bâtiment *A, B, D*, qui se croisent. Leurs six extrémités sont terminées par des *croupes droites* ou *biaises*, suivant les formes du plan, et pareilles à celles de la fig. 17. pl. XLV. Les parties des combles répondant aux points où les bâtiments se croisent sont leurs *noues* ou *nœuds*. Les *noues e a, e o, c e, c u*, sont égales, parce que les bâtiments *A* et *D* se croisent à angle droit. Celles *c' a', c' o', c' e', c' u'*, sont inégales, parce que les angles que forment les bâtiments *A* et *B* ne sont point de 90 degrés. Dans cette combinaison de bâtiments, les arêtiers sont contigus deux à deux, et les noues sont réunies quatre à quatre. Dans l'édifice dont les combles sont projetés, fig. 10, pl. LIII, les corps de bâtiment *A, B, C, D*, qui enveloppent une cour, ne se croisent point; leurs rencontres forment intérieurement et extérieurement des angles qui donnent lieu à des *arêtiers* aboutissant aux angles extérieurs *a, b, c*, et à des noues aboutissant aux angles intérieurs *a' b' c'*. Tous les *arêtiers* sont droits, parce qu'ils divisent les angles auxquels ils correspondent en deux parties égales. Il en est de même des *noues* qui divisent

(1) Voyez la note de la page 360.

aussi en deux parties égales les mêmes angles; et en général les *noues* et les *arêtiers* sont droits toutes les fois qu'ils résultent de la rencontre de bâtiments égaux en largeur, et dont les combles sont égaux en hauteur, comme dans la fig. 10, dont nous venons de nous occuper, et ils sont toujours biais ou *déviés* lorsque, quoique les combles soient de même hauteur, les bâtiments sont de largeur inégale, ou, ce qui est la même chose, lorsque les pans des toits n'ont point les mêmes pentes. C'est ce qui a lieu dans la fig. 7, pl. LI. Dans cette même fig. 10, les arêtiers et les noues sont sur la même ligne droite à chaque angle : ce qui n'arrive que dans le cas, représenté dans la figure, de bâtiments qui se rencontrent et ne se croisent point.

Lorsqu'un bâtiment *E* se rattache obliquement à un bâtiment *A*, les *noues* *c a*, *c o* de leurs combles sont inégales, comme nous les avons déjà vues, fig. 8, pl. XLIV. Si on voulait faire ces noues égales comme le sont celles *y a*, *y o*, qu'on a supposées dans la figure, le bâtiment *E* aurait ses pans de toit inégaux, comme le fait voir la coupe scéléne *a g o*, fig. 7, faite sur la ligne *m n*.

Lorsque la grande largeur d'un comble oblige de le faire plus élevé que celui auquel il se rattache, comme le comble *F* par rapport au comble *D*, le raccordement se fait par le prolongement du pan de toit *D*, qui tronque le sommet du grand comble *F*, et donne lieu à deux portions d'arêtiers, *x, n*, *x v*.

§ 4. Composition des fermes employées pour la construction des combles à deux égouts.

Les combles à deux égouts des bâtiments les moins étendus en largeur, et par conséquent de la construction la plus simple, ne sont composés que de chevrons. La fig. 1, pl. XLI, est une coupe faite dans un comble de cette espèce par un plan vertical perpendiculaire à la longueur du bâtiment. Le plan de projection est parallèle aux chevrons *a, a*. Les chevrons d'un pan répondent à ceux de l'autre pan; ils sont assemblés par le haut deux à deux par entailles à mi-bois; leurs bouts inférieurs sont assemblés par embrèvement dans des entailles ou *pas* creusés dans les sablières *b, b*, posées sur les murs. Les chevrons sont espacés de 0^m,43 à 0^m,65, suivant le poids de la couverture qu'ils doivent porter. La position des chevrons, leur poids et la charge de la couverture tendent à pousser les sablières et à renverser les murs. Cet effet est arrêté par des tirants *c* distribués

dans la longueur du bâtiment pour unir les sablières et maintenir l'écartement qui leur a été donné. Les sablières sont retenues sur les tirants par des entailles et des boulons.

Lorsque la couverture doit être établie sur un lattis en planches, comme on le pratique pour les ardoises, ce lattis, cloué sur les chevrons, suffit pour les maintenir parallèles; mais lorsque la couverture doit être en tuiles plates, le lattis en lattes de fente n'aurait pas une solidité suffisante pour assurer le parallélisme des chevrons. Il est alors indispensable de placer sous leur assemblage supérieur un faitage *d*, après lequel on les attache avec des broches de fer. On les fixe quelquefois aussi par le même moyen aux sablières. Des bouts de chevrons *e, e*, cloués sur les chevrons, et qui ont pour objet d'étendre la couverture jusqu'au filet de cimaise de la corniche, sont les *coyours*.

Cette disposition de combles n'est praticable que lorsque la largeur des bâtiments et la hauteur sous faites ne portent pas la longueur des chevrons au-delà de deux ou trois mètres, parce que plus longs ils n'auraient point la force de supporter les couvertures sans fléchir, ce qui donnerait aux toits une forme creuse qui nuirait à la durée des matériaux. Lors donc que les chevrons doivent avoir une longueur qui dépasserait les limites que nous venons d'indiquer, on les soutient en dessous par des pièces de bois horizontales qui divisent leur longueur en parties égales moindres que cette limite; ces pièces, nommées *pannes*, permettent aussi d'employer pour chevrons des bois qui n'ont pour longueur que la portée d'une panne à une autre. Les *pannes* sont soutenues par des espèces de chevalets qui forment des pans de charpente, ou *fermes*, distribuées transversalement à égales distances les unes des autres dans la longueur du bâtiment. Ces distances sont calculées de façon que les pannes n'aient pas une longueur trop grande par rapport à leur équarrissage, afin qu'elles ne fléchissent point sous la charge des chevrons qu'elles ont à soutenir.

Les fermes d'un comble sont d'autant plus compliquées que, vu la largeur des bâtiments, on est forcé d'employer un plus grand nombre de pannes dans les pentes du toit.

La fig. 3, pl. XLI, est une coupe dans un comble par un plan vertical perpendiculaire à la longueur du bâtiment, sur laquelle on a projeté une des *fermes transversales* dont nous venons de parler, pour le cas où les chevrons doivent être soutenus de chaque côté par une seule panne.

a, a, chevrons; *b, b*, sablières sur lesquelles portent les chevrons; *c*, tirant qui reçoit les assemblages des arbalétriers *h* et retient leur écartement;

d, faitage qui a pour objet de porter les bouts supérieurs des chevrons; *e, e*, coyaux; *f, f*, pannes qui soutiennent les chevrons entre le faite et les sablières; *g*, poinçon qui sert à soutenir le faite *d* et à recevoir les assemblages des arbalétriers *h, h*, sur lesquels les pannes *f f* doivent être posées; *i, i*, liens qui reportent le poids des pannes sur le poinçon où leur résultante se trouve verticale et dans l'axe du poinçon qui ne peut descendre, étant soutenu par les assemblages des arbalétriers. Le poinçon est assemblé au tirant à tenon et mortaise, pour qu'il ne puisse osciller en aucun sens; un étrier en fer attache le tirant au poinçon et le soulage de son propre poids. La combinaison des deux arbalétriers, du poinçon et du tirant forme des figures triangulaires invariables.

Les liens *i, i*, doivent être assemblés dans les arbalétriers, précisément au-dessous des points d'application des pannes; autrement la pression des pannes et la résistance des liens ne manqueraient pas de faire serpenter les arbalétriers et de déformer les plans de la toiture. Dans quelques charpentes on a supprimé les liens *i, i*, pour leur substituer un faux entrail *k* qui est ponctué, et le poinçon a été assemblé par son pied dans ce faux entrail. Cette disposition, qui économise quelque peu de bois, n'est pas aussi solide que la précédente, vu que le trapèze 1-2-3-4, qui en résulte, n'est plus une figure invariable, qu'il permet quelques oscillations et que le tirant n'est plus soutenu dans son milieu; d'ailleurs l'effet des pannes n'est plus soutenu aussi directement. Cependant on est déterminé quelquefois à l'adopter, lorsqu'on veut faire un grenier au niveau du tirant, auquel on donne, dans ce cas, un plus fort équarissage.

La fig. 2 est une projection du plan de charpente longitudinal, ou *ferme sous faite*, sur un plan vertical parallèle à la longueur du bâtiment, et dont la trace sur le plan de projection de la fig. 3, auquel il est perpendiculaire, est la ligne *AB*. Dans cette projection, fig. 2, comme dans celles du même genre qui suivront, les seuls tirants *c* et les entrails sont coupés; toutes les pièces à droite de la ligne de coupe *AB* de la fig. 3 sont supposées enlevées pour laisser voir le pan de charpente longitudinal, composé des poinçons *g* des fermes transversales, des pièces de faitage *d* et des aisseliers *j, j*, dégarnis de toutes les autres pièces qui n'en font point partie. La ligne *DE* est la trace du plan sur lequel la ferme transversale, fig. 3, a été projetée; on suppose également, dans cette fig. 3, que le faite et les pannes seuls sont coupés, et que toutes les pièces à gauche de la ligne *DE* ont été désassemblées pour dégager la ferme de tout ce qui n'en fait pas essentiellement partie. On a marqué sur les projections des

poinçons, dans les deux figures, les *portées* et les mortaises des pièces qui ont été enlevées.

Les poinçons *g, g*, sont toujours les pièces communes entre le pan de charpente longitudinal, ou *ferme sous faite*, fig. 2, et les *fermes*, fig. 3, ou pans transversaux. La *ferme* transversale, fig. 3, est projetée dans toute sa hauteur en *M*, fig. 2. Les fermes parallèles seraient projetées aux distances égales qui leur conviennent, si cette fig. 2 avait pu avoir plus d'étendue; un fragment de l'une d'elles est projeté en *N*. Les mêmes lettres désignent les mêmes pièces dans les deux figures. Les aisseliers *j, j*, fig. 3, soutiennent le faite dans les deux points qui divisent sa longueur en trois parties sensiblement égales, ils assurent l'invariabilité de forme de la *ferme sous faite*.

Lorsque les murs de refend parallèles aux pignons d'un bâtiment sont assez rapprochés les uns des autres, ou situés aux emplacements où correspondraient des fermes transversales, et qu'ils s'élèvent jusque sous les pans du toit, ils tiennent lieu de fermes pour soutenir les pannes. C'est le cas représenté par une coupe transversale, fig. 9. *m, m'* sont les murs de face d'un bâtiment coupé par un plan de projection. *n* est un mur de refend. *o, o*, solives du plancher du grenier. *p*, porte percée dans le mur de refend pour communiquer dans les greniers séparés par ce mur. *q*, cheminée montant des étages inférieurs. *a, a*, chevrons du toit. *f, f*, pannes soutenues dans les murs de refend, comme dans les murs de pignons. *d*, faitage. *l*, sous-faite. Lorsque les murs de refend sont trop écartés, ce qui arrive le plus souvent, les pannes sont soutenues intermédiairement par des fermes.

Lorsque la maçonnerie est moins chère que la charpente, on élève les murs de refend jusque sous les toits. Dans le cas contraire, ou lorsqu'on veut avoir un grenier spacieux, on préfère établir des fermes.

D'un côté de la figure, la sablière *b* posée sur le bord du mur *m* sans corniche reçoit les chevrons dans des entailles faites sur son arête où ils sont cloués, et ils dépassent le mur pour que l'eau du toit soit rejetée au dehors. De l'autre côté, la sablière *b* reçoit les abouts des chevrons, comme dans les figures précédentes, et des coyaux *e* portent la couverture jusqu'au bord de la cinnaise de la corniche qui couronne le mur *m'*.

La fig. 13 est une coupe dans un comble par un plan vertical. Une des fermes transversales qui soutiennent les pannes a été projetée sur ce plan qui lui est parallèle. La longueur des chevrons *a, a*, nécessite l'emploi de trois pannes *f, f, f*, de chaque côté.

Les points des arbalétriers h , h , sur lesquels s'appuient les pannes, sont soutenus par les liens i , i , par l'entrait k , et par les jambettes ou contre-fiches l , qui sont inclinées pour que leur effet soit plus efficace; ou qu'on établit verticales, comme nous les avons ponctuées, pour qu'elles prennent moins d'espace sur la largeur du grenier. On pourrait aussi ajouter des aisseliers j , j . Nous répétons que les assemblages de ces pièces dans les arbalétriers doivent répondre exactement aux pannes, autrement les arbalétriers serpenteraient, ce qui nuirait autant à la durée de la couverture qu'à la solidité des fermes.

Dans quelques anciennes charpentes, au lieu de faire porter les chevrons sur les pannes, on les y a assemblés à tenons et mortaises, ou à paumes (1). Un fragment d'une ferme, dans laquelle cette disposition est observée, est représenté fig. 4; les mêmes lettres que sur la figure précédente marquent les mêmes pièces. La fig. 5 est une projection sur le plan du toit que l'on a fait tourner autour de l'arête de l'un des chevrons pour la rendre parallèle au plan du dessin. La ferme fig. 4, est projetée sous le toit fig. 5 dans l'épaisseur de l'arbalétrier h , qui répond à l'intervalle de deux chevrons. Dans d'autres charpentes, également anciennes, les pannes f , f , fig. 14, sont assemblées dans les arbalétriers h à tenons et mortaises, ou à paumes, et les chevrons a , a , sont assemblés, comme dans les fig. 4 et 5, aux pannes. La fig. 15 est une projection du toit sur son propre plan, qu'on a, comme précédemment, fait tourner sur l'arête d'un chevron pour la rendre parallèle au plan du dessin. Les mêmes lettres désignent encore, dans ces deux figures, les mêmes pièces. Les fig. 14 et 15 sont relatives à un comble dont l'étendue n'exigerait que deux pannes f sous chaque pan de toit.

Cette disposition des pannes et des chevrons avait pour objet de diminuer un peu le cube des bois, de comprendre l'épaisseur du toit dans celle des arbalétriers, afin de donner plus d'espace dans les greniers et plus de force aux fermes par le moyen de l'accroissement de leurs dimensions; mais elle a été abandonnée à cause de l'augmentation de travail résultant de la multiplicité des assemblages des chevrons et des pannes; en second lieu, parce que ces assemblages affaiblissent les arbalétriers et les pannes et donnaient lieu à une plus prompte détérioration des bois, vu que l'eau qui pénétrait accidentellement sous la couverture, par suite de

(1) Assemblages, fig. 2, 8, 9, pl. XVII.

dégradations momentanées, en s'insinuant dans une partie de ses joints, occasionnait la pourriture des assemblages. La régularité et la liaison résultant de ce système d'assemblage avaient déterminé quelques charpentiers à l'adopter de nouveau; mais ce serait à tort qu'on persisterait à en faire usage, à cause des inconvénients que nous venons de signaler. Dans la charpenterie moderne, on doit éviter le grand nombre des assemblages dans les pans des toits et ne faire que ceux strictement indispensables.

La fig. 12 est une projection du grand pan de charpente longitudinal, ou ferme *sous-faîte*, qui a pour objet d'entretenir dans leurs positions verticales et parallèles les fermes transversales parcellées à celle projetée fig. 13. Les mêmes lettres désignent dans ces deux figures les mêmes pièces. Vu la longueur des aisseliers *j, j*, qui résulte de la grande distance des fermes transversales, ils sont fortifiés, vers leurs milieux, par des pièces horizontales *r, r*, qui leur sont assemblées, ainsi qu'aux poinçons *g, g*, et qui composent le *sous-faîte* que l'on fait aussi quelquefois d'une seule pièce. On a projeté sur le plan de la fig. 12 les pannes et les chevrons qui sont en arrière de la ferme *sous-faîte*. L'entrait des fermes transversales, fig. 13, se trouvant élevé de 2 mètres au-dessus du tirant *t*, on peut circuler en dessous et utiliser les greniers; mais, vu l'inclinaison des toits, il est difficile de faire usage de leurs parties les plus rapprochées des murs.

Lorsque la largeur du bâtiment s'y prête, et qu'on veut rendre les greniers habitables, on donne aux fermes la forme représentée fig. 1, pl. XLII, dans laquelle une ferme partielle, composée, comme précédemment, d'un tirant *c* qui prend le nom d'entrait, de deux arbalétriers *h, h*, d'un poinçon *g*, de deux liens *i, i*, et de deux contre-fiches *l*, est élevée au-dessus du tirant principal *t* par deux pièces presque verticales *s, s*, qui prennent le nom de *faux arbalétriers*, ou mieux de *jambes de force*; leur stabilité est assurée par deux aisseliers *u, u*, qui s'y assemblent ainsi que dans l'entrait. La position des jambes de force permet d'approcher des murailles, qui sont d'ailleurs exhaussées au-dessus des tirants jusqu'à hauteur d'appui. Les arbalétriers de la ferme partielle portent chacun trois pannes *f, f, f*, dont l'effort est soutenu par les liens, les contre-fiches et l'entrait. Les chevrons *a, a* sont prolongés jusqu'aux sablières *b, b*, établies aplomb des parements extérieurs des murs et retenues aux jambes de force par des *blochets* *y, y*, qui les croisent à entailles à mi-bois, et qui s'assemblent à queue d'hironde avec clef, dans les jambes de force. Cet assemblage est détaillé sur une plus grande échelle, fig. 1, pl. XVIII. On consolide

quelquefois les jambes de force par des *jambettes* ou *contre-fiches* l, l' , qui ne sont que ponctuées sur la figure, parce qu'on ne les emploie que lorsqu'elles sont indispensables, vu que le plus souvent elles gênent la circulation dans les greniers. On a parfois fait concourir la maçonnerie à la stabilité de la position des jambes de force, en engageant leurs pieds et toute leur épaisseur dans les murs à hauteur d'appui; mais quoique ce moyen soit en apparence assez efficace pour la stabilité, il est pernicieux pour la conservation de la charpente, vu que l'humidité que l'égoût du toit entretient fréquemment dans le haut des murs pourrit rapidement les jambes de force.

On n'a point marqué sur la fig. 43, pl. XLI, ni sur la fig. 4, pl. XLII, les coupes des planchers des greniers, parce qu'ils ne sont pas toujours construits de la même manière par rapport à la charpente des combles. On établit ces planchers ou sur des solives parallèles aux tirants t des fermes, qui portent dans les murs m, m' , comme celle de la fig. 1, pl. XXXII, ou bien on les établit par travées sur poutres, comme celles de la fig. 2, même planche. Les tirants pourraient alors servir de poutres, pourvu qu'on leur donnât un équarrissage plus fort que celui marqué dans nos figures, où l'on suppose qu'ils n'ont pas d'autre office à remplir que de retenir l'écartement des arbalétriers et des jambes de force.

La première disposition dont nous venons de parler est en usage dans les contrées où le bois de sapin est commun. Dans l'une ou l'autre disposition, il est toujours prudent de rendre les tirants indépendants, afin que les oscillations des planchers, lorsqu'on agit dessus, ne se transmettent point aux combles, vu que, comme nous l'avons déjà fait remarquer, la continuité des oscillations détériore les assemblages.

La fig. 2 est la projection de la longue ferme *sous-faîte* du même comble que la ferme transversale, fig. 1. Une pièce c , assemblée aux poinçons g, g , dans chaque travée, et nommée *sous-faîte*, est liée au faitage par une croix de Saint-André r, r , dont le poids est reporté sur les poinçons par les liens j, j , qui sont assemblés dans les prolongements de ses bras. Cette combinaison des poinçons et des faites avec des croix de Saint-André et des aisseliers, a pour objet d'assurer l'invariabilité de la ferme *sous-faîte*; elle soutient aussi le faite qui supporte un poids double de celui dont chaque panne est chargée.

Lorsque l'écartement des fermes transversales est très-grand, ou lorsque le comble est exposé à des coups de vent violents, qui feraient plier les ouvertures, pour n'être point forcé d'employer des bois d'un équarrissage très-

fort, qui chargeraient trop la charpente, on soutient les pannes comme le faite par des liens qui s'y assemblent dans des plans perpendiculaires aux toits et qui vont s'assembler aussi dans les liens i, i , des fermes transversales. En pareil cas, on substitue aux jambettes verticales l, l , des liens i' , qui sont ponctués dans la fig. 1, afin que les liens des pannes puissent s'y assembler, comme dans les liens i des arbalétriers. La fig. 3 est une projection d'un *pan de charpente* ainsi formé par une panne f et ses liens l' , combinés avec ceux i' qui lui correspondraient dans la ferme transversale construite d'après ce système. La projection de ce pan de charpente est faite sur un plan dont la ligne $E F$ est la trace, sur la fig. 1, les pièces a vues par leurs bouts sont les chevrons. Pour se procurer une pareille combinaison sous chaque panne, on est quelquefois dans la nécessité de changer leur distribution et même d'en augmenter le nombre, afin de faire correspondre à chacune d'elles un lien, ou une contre-fiche dans les fermes transversales.

On lie aussi les pannes entre elles par des croix de Saint-André, et, pour compléter ce système, on assemble les pannes dans les arbalétriers, comme dans la fig. 14, pl. LXI, afin de pouvoir prolonger les branches des croix de Saint-André, jusqu'à ces mêmes arbalétriers, par des aisseliers de pannes, de façon que la combinaison de deux pannes présente la même figure que la liaison du faite et du sous-faite. Il résulte de ces dispositions de véritables pans de charpente inclinés pour les toits. Ces pans sont composés des pannes, des croix de Saint-André, des aisseliers de pannes et des arbalétriers, qui deviennent les pièces communes entre les pans des toits et les fermes. Les Allemands appellent ces pans de toit *liegender Dachstuhl*, c'est-à-dire fermes couchées ou *pans de charpente couchés*; nous en donnerons des exemples lorsque nous traiterons, dans un chapitre particulier, des différents systèmes de construction des combles.

A l'égard des sablières, comme elles ne sont que soutenues sur les murs, à moins que ces murs ne soient fort épais, il est impossible de les combiner avec d'autres pièces pour les consolider contre la poussée que les chevrons, simplement appuyés sur les pannes, exercent sur elles dans les combles de construction ordinaire, comme ceux représentés par les fig. 13 et 14 de la pl. LXI, et 1 et 4 de la pl. LXII.

La poussée horizontale qui résulte de l'effort des chevrons sur les sablières est complètement détruite devant chaque ferme transversale par leur liaison avec les jambes de force, soit au moyen des blochets y, y , soit au moyen de liens en fer y , fig. 7; mais entre les fermes cette poussée

n'est point détruite, elle est à son *maximum* au milieu de l'écartement des fermes transversales, elle fait courber les sablières et elle agit par suite sur les murs qui les supportent et dans la maçonnerie desquels elles sont souvent engagées. La courbure des sablières et le mouvement des murs deviennent très-sensibles lorsque le toit a trop de poids, ou que l'écartement des fermes est trop grand, ou enfin lorsque les sablières sont trop faibles, surtout dans le sens de leur largeur horizontale. Le remède serait sans doute d'employer des sablières d'un équarrissage beaucoup plus fort; mais on ne doit pas consommer de gros bois pour cet objet; il est plus convenable de les conserver pour en faire emploi dans les fermes. On a dû, en conséquence, chercher un autre moyen de diminuer la poussée exercée par les toits sur les sablières. Au-dessous de l'angle de 45 degrés la pression des chevrons sur les pannes occasionne un frottement qui atténue leur poussée sur les sablières; au-dessus du même angle la même poussée est diminuée par l'effet de la décomposition de l'action exercée par les chevrons dans le sens de leur longueur; et, comme plusieurs raisons ont déterminé, ainsi que nous l'avons vu, à ne pas faire de toits en tuiles plates au-dessous de l'angle de 45 degrés, c'est par une inclinaison plus rapide qu'on s'est déterminé à diminuer la poussée des chevrons sur les sablières. Voilà la considération qui a souvent porté les charpentiers à faire les toits sous l'angle de 60 degrés et même sous des angles plus raides.

On a construit des fermes dont les assemblages sont représentés sur le fragment, fig. 4, pl. XLII, et dans lesquelles, à l'entrait *e* de la fig. 1, on a substitué un faux entrait, désigné par la même lettre, fig. 4. Cette disposition, indiquée dans quelques ouvrages, notamment dans le *Cours de construction* de Douliot (1), ne vaut pas, à beaucoup près, celle de la fig. 1, par plusieurs raisons : 1° l'invariabilité du trapèze 1-2-3-4, fig. 1, ne dépend plus, dans la fig. 4, de l'assemblage direct des pièces dont il est formé, mais seulement de la faible résistance des tenons de l'entrait *e*, et de ceux des jambes de force qui s'assemblent dans les arbalétriers *h, h*, comme dans des pièces auxiliaires, tellement que l'un de ces tenons, venant à se rompre, le toit n'a plus de soutien; 2° le glissement des arbalétriers, par l'effet de la charge du toit, portée sur eux par les pannes, fait effort sur les blochets et sur les sablières, et la poussée sur les murs n'est retenue que par les tenons, ou plutôt par les chevilles des

(1) 2^e partie, p. 67, fig. 102, pl. X.

assemblages du faux entrâit *c* dans les arbalétriers *h*, et par celles des tenons qui attachent les blochets aux jambes de force. J'ai vu un bâtiment dont les murs de face avaient été poussés en dehors en surplomb par l'effet de la rupture de ces chevilles; 3° enfin, le comble, au lieu d'être porté par les larges abouts supérieurs des jambes de force, n'est soutenu que par leurs faibles tenons sous une très-grande obliquité sur les faces internes des arbalétriers, et par des embrèvements sans appui contre ceux des entrâits.

Ordinairement, les fermes transversales ne sont maintenues à leur écartement et verticales que par la ferme longitudinale, qui n'est pas toujours suffisante, surtout dans les grands combles, vu qu'on ne peut compter sur les pannes pour remplir cet objet, à moins qu'elles ne soient assemblées aux arbalétriers, comme dans les *fermes couchées*. On se contente le plus souvent, pour le maintien des fermes transversales, de les lier au moyen de liernes assemblées aux extrémités de leurs entrâits, comme en *x*, fig. 1, pl. LIX. Si l'on craint que les quatre mortaises des assemblages qui résultent de cette combinaison à chaque bout des entrâits les affaiblissent trop, on les fortifie également à chaque bout par une *fouerrure v* jointe à crans en dessous et boulonnée, dans laquelle on assemble la jambe de force correspondante.

§ 5. Toits en pente douce.

Lorsque les pans des toits ont peu d'inclinaison, comme serait celui auquel appartiendrait une ferme transversale, fig. 10, pl. XLIII, le poinçon *g*, les liens *i*, les contre-fiches *l*, sont assemblés dans le tirant *f* et peuvent être liés avec lui par des étriers en fer. Les parties supérieures des fermes, représentées fig. 6 et 7, pl. XLII, sont construites suivant ce système.

Les combles construits sous ces inclinaisons, qui ont une très-grande portée, nécessitent dans la construction de leurs fermes transversales des entrâits; on en trouve des exemples au chapitre ayant pour objet la description des différents systèmes des constructions en charpente.

La distribution intérieure d'un bâtiment peut déterminer à faire porter les toits en pente douce par des murs de refend qu'on fait concourir à la décoration en les perceant d'arcades soutenues par des colonnes ou des pilastres. Ces refends peuvent être construits en maçonneries ou en pans de bois, auxquels on donne l'apparence de murs. La fig. 3, pl. XLIII, présente

les deux cas : sur la droite le refend est un mur *m* percé par un arc en pierre *o* soutenu par des colonnes. Les pannes *f* et le faitage *d* sont soutenus par leurs bouts dans la maçonnerie, comme nous en avons déjà vu un exemple, fig. 9, pl. XLI; les chevrons *a*, *a* posent sur les sablières *b*. Dans la partie de gauche de la figure, le refend est supposé construit en charpente; il est formé de la réunion de deux pans de bois pour fournir l'épaisseur d'un mur. On donne aux bois un peu moins de force que si les deux pans étaient isolés; chacun est composé comme une ferme.

Les pannes *f* sont portées par des arbalétriers *h*, le tirant est remplacé par deux architraves *l*, deux demi-tirants *e* et un entrait relevé *k* au-dessous duquel l'arc, formé par deux aisseliers *r* et des goussets *x*, *y*, se trouve compris entre deux poteaux *g* répondant aux colonnes. La fig. 7 est un fragment de coupe par un plan vertical perpendiculaire à celui sur lequel la fig. 6 est projetée; elle fait voir la position qu'ont les deux pans de bois au-dessus des colonnes. Ces deux pans de bois *x* sont liés par des étrépillons comme celui *z*; ils sont lattés, hourdis et enduits en plâtre extérieurement des deux côtés, ainsi que sous l'intrados de l'arc et sous les plates-bandes répondant aux espaces *u* entre les colonnes et les pilastres engagés dans les murs, pour donner à cette charpente l'aspect d'une construction en pierre. Le dessin ne représente point les potelets et tournisses dont les compartiments des pans de bois sont remplis pour porter les lattes.

Lorsque les toits à deux égouts dépassent les pignons, comme nous les avons supposés, fig. 2, 3, 4, 5, 13, 14, pl. XLV, les pannes sont prolongées extérieurement d'une longueur égale à la saillie des toits qu'elles doivent soutenir. Leur équarrissage carré, comme elles sont vues en coupe fig. 6, pl. XLIII, ne s'accorde pas toujours convenablement avec la décoration extérieure du bâtiment; on les débillarde alors suivant l'angle que font les toits avec les plans verticaux des longues façades; elles ont la forme représentée en *f f*, fig. 3 et 4, qui a l'avantage de leur donner une assiette solide dans les murs. Leur portée dans les arbalétriers a lieu sur les parties horizontales des entailles, et elles sont maintenues dans leurs positions par deux chantignolles. On leur donne aussi, en les débillant sur deux faces, la forme *f' f'* que l'architecture a fixée pour les mutules et les modillons employés dans les parties rampantes des frontons en pierre; elles sont soutenues sur les arbalétriers par deux goussets à chacune.

§ 6. *Combles brisés.*

Pour diminuer la hauteur excessive à laquelle on avait porté les toits, on supprima leur sommité aiguë; elle fut remplacée par un faux comble très-surbaissé. La fig. 7 de la pl. XLII représente une ferme transversale d'un comble ainsi *brisé*.

F. Mansard, mort en 1666, qui avait mis ces sortes de combles fort en vogue en France, fut longtemps regardé comme leur inventeur, et leur donna son nom; les habitations immédiatement situées sous leurs charpentes reçurent aussi le nom de *mansardes*, qu'elles ont conservé. Les parties qui répondent aux jambes de force forment le *vrai comble*, dans lequel les logements en *mansardes* peuvent être établis.

Le toit à deux égouts qui est au-dessus est le *faux comble*; il ne contient qu'un galetas inhabitable, surtout lorsque le bâtiment n'a pas une grande largeur.

Le tracé des *combles brisés* peut être fait de plusieurs manières, qui donnent aux profils des fermes des formes différentes.

1^{re} *Méthode.* Fig. 10, pl. XLI, le triangle $a d b$ représente le profil d'un toit ancien, non pas cependant de ceux les plus exhaussés; sa hauteur est égale à sa base. Par le point e , milieu de la hauteur $c d$, on trace une horizontale $h i$ parallèle à la base $a b$, qui représente le dessus du tirant; on fait la hauteur $e f$ du faux comble égale à la moitié de $b e$, et le profil du *comble brisé* est $a h f i b$.

2^o *Méthode.* Fig. 6, on fait $c e$, hauteur du vrai comble, égale à la moitié de $a b$, largeur dans œuvre du bâtiment; $c e g b$, $c e d a$, sont deux carrés; les parties $d h$, $g i$, $e f$, sont prises égales au tiers d'un des côtés de ces carrés; $a h f i b$ est le profil du comble brisé.

3^o *Méthode.* Fig. 8, pl. XLII. Ayant tracé la demi-circonférence $a d b$, sur le diamètre $a b$ égal à la largeur du bâtiment, on la divise en quatre parties égales aux points e, d, f ; le demi-octogone, inscrit $a e d f b$, est le profil du *comble brisé*. Cette méthode est attribuée à Bullet. D'Aviler prétend qu'il l'a imitée des cintres en charpente de Viola, architecte italien, et il propose la méthode suivante.

4^o *Méthode.* Fig. 7, pl. XLI. Quelle que soit la hauteur $c e$ ou $b g$ de la mansarde, d'Aviler fait $g i$ égal à la moitié de cette hauteur et la hauteur $e f$ du faux comble égale à la moitié de $c i$.

5^o *Méthode.* Fig. 9, pl. XLII. La demi-circonférence $a b d$ étant tracée

on divise chaque moitié du diamètre $a b$ en trois parties égales, les perpendiculaires $p n$, élevées de chaque côté par les premiers points de division, donnent sur chaque quart de cercle un point n qui marque la hauteur du brisis; $a n d n b$ est le profil du *comble brisé*.

6° *Méthode*. Fig. 7, pl. XLII. Enfin Bélidor, peu satisfait des formes obtenues par ces divers tracés, proposa, en 1739, dans la *Science des ingénieurs*, un tracé qui a été presque généralement adopté à cause de sa simplicité et du bon effet qu'il produit.

Ayant décrit un demi-cercle sur la ligne $A B$, largeur de la base du comble comme diamètre, et élevé sur le milieu de ce diamètre la perpendiculaire $C D$, on divise sa circonférence en cinq parties aux points E, G, H, F ; les cordes $A E, B F$, qui répondent aux premières divisions des deux côtés, forment les pentes du *vrai comble*, et les cordes $E D, F D$ sont celles du *faux comble*.

On peut encore varier, même d'une infinité de manières, les formes des combles brisés, soit en choisissant sur le diamètre ou sur la demi-circonférence d'autres points de division, soit en changeant les rapports des bases et des hauteurs des toits, suivant les applications qu'on veut en faire. C'est ainsi que Krafft en a usé dans le comble brisé qu'il a construit en 1788, à Massaw, en Alsace (1), suivant le tracé indiqué par l'architecte Briseux, en 1743, et que nous donnons fig. 8, pl. XLI. La largeur $a b$ du bâtiment est d'environ 13^m,60; l'entrait $h i$ est placé à environ 2^m,28 au-dessus, afin qu'on puisse habiter la mansarde; $y i$ est égale au tiers de $b g$, hauteur du vrai comble; $e f$, hauteur du faux comble, est égale au quart de sa base $h i$.

Bullet, que nous avons déjà cité à la page précédente, dit que Mansard a tronqué ses combles à l'exemple de celui du château de Chilly, construit par Métézau (2).

Mesange (3) prétend qu'il en avait pris l'idée dans le cintre en charpenterie composé par Antonio Segallo, et que Michel-Ange a employé à la construction du dôme de Saint-Pierre de Rome (4). Mais Krafft, dans une

(1) 1^{er} Recueil, page 6 (*Krafft ancien*).

(2) Architecte sous Louis XIII; employé comme ingénieur au siège de la Rochelle, en 1628.

(3) Mathias Mesange, garde de la bibliothèque de Saint-Germain-des-Près, mort à Paris en 1758. (*Traité de charpenterie*.)

(4) Nous donnons le détail de ce cintre dans le second volume.

note de la page 6 de son premier recueil, fait avec raison remonter plus haut l'origine des combles brisés. Il remarque que les premières constructions de ce genre ont été faites sur la partie du Louvre bâtie, sous Henri II, par Pierre Lescot, mort en 1570, bien avant, par conséquent, la construction du château de Chilly et du château de Maisons, où il paraît que F. Mansard fit usage pour la première fois des combles brisés, et que c'est à tort qu'on lui a fait honneur de cette invention. Il ajoute même que des maisons de bois de la haute et de la basse Bretagne étaient déjà couvertes en *combles brisés* dès la fin du xv^e siècle. Quoi qu'il en soit, c'est F. Mansard qui en a fait revivre l'usage, et l'on ne peut s'empêcher de reconnaître qu'ils ont été utiles et qu'ils s'accordaient bien avec le goût des bâtiments de l'époque. Ils donnaient une augmentation de logement avec moins de dépense que celle qu'entraînait un exhaussement des murs, et laissaient les étages des appartements principaux se distinguer extérieurement des logements qui n'en étaient que les dépendances; ils avaient aussi l'avantage de réduire la largeur des joues des fenêtres dites lucarnes. On n'en fait plus autant usage, parce qu'ils ne sont plus en harmonie avec la simplicité, la grande élévation et l'élégance des façades que l'on fait aujourd'hui; cependant l'étude de leur construction n'en est pas moins nécessaire, vu que l'on peut encore en faire d'utiles applications.

Les pièces de bois *n*, fig. 6 et 7, pl. XLII, qui correspondent aux arêtes du brisis des combles, sont, à l'égard des chevrons du faux comble, l'office de sablières; elles ont néanmoins reçu le nom de pannes de *brisis*. Elles forment quelquefois corniches, comme celle représentée par un profil, fig. 10, pour rejeter les eaux du faux comble sur les brisis; d'autres fois elles sont arrondies en gros cordons saillants, comme dans la fig. 1, pl. XLIII. On les enveloppe alors d'une feuille de métal qu'on fait descendre en bavette par-dessus les ardoises ou les tuiles du brisis. Dans aucun cas les pannes du brisis ne dispensent de véritables pannes *z* pour appuyer les bouts supérieurs des chevrons *o* des pans de brisis, comme dans la fig. 10.

Le plus ordinairement on couvre les pans du vrai comble en ardoises, parce qu'ils sont raides et plus apparents, tandis que les pans du faux comble, qui ne peuvent être aperçus, sinon de loin, peuvent être couverts en tuiles.

Dans les combles en *mansardes*, les *sous-faites* *v*, fig. 7, sont assemblés dans les entrails *c*, parce qu'ils se trouvent alors à même hauteur que les soliveaux qui soutiennent le plafond.

Les sablières *b*, du comble fig. 7, sont liées aux jambes de force par des

bandelettes en fer yy qui tiennent lieu de blochets. Des coyaux $e e$ portent, comme pour les autres combles, les égouts de la couverture jusqu'aux cimaises des corniches, à moins que les eaux ne doivent être reçues dans des chéneaux en plomb établis sur ces mêmes corniches.

Lorsqu'on veut comprendre dans le principal étage l'espace enveloppé par le comble, ordinairement employé en mansardés, on supprime les tirants et l'on fait porter, par embrèvement, les jambes de force s, s sur des sablières z, z , fig. 6, posées sur les retraites ménagées en haut des murs au niveau des corniches intérieures; et les fermes sont disposées intérieurement pour porter une charpente légère ayant pour objet de cacher celle du comble au moyen d'un revêtement en menuiserie ou en plafonnage, qui produit intérieurement l'apparence d'une voûte. En pareil cas, on a soin de donner aux murs des épaisseurs suffisantes pour résister à la poussée des jambes de force chargées de toute la charge de la toiture.

La ferme représentée fig. 6 est tracée d'après la méthode de Bélidor.

Les jambes de force s, s , l'entrait e , les aisseliers u, u , les goussets w, w , sont taillés en dedans suivant le cintre que doit avoir la voûte en bois; toutes ces pièces sont assemblées à tenons, mortaises et embrèvements. On a marqué sur leurs faces de parement les mortaises dans lesquelles doivent s'assembler les pannes intérieures, pour la construction de la voûte, dans chaque travée.

Selon la hauteur du brisis du comble, la courbe, qui doit former l'intrados, est un cercle ou une ellipse, ou même une courbe tracée par le raccordement de plusieurs arcs de cercle égaux en nombre de degrés. Celle de la fig. 6 est de ce genre; elle est connue sous le nom d'*anse de panier* (1). La fig. 5 est un fragment de la même ferme avec la coupe de la voûte en bois; les mêmes lettres y désignent les mêmes pièces que dans la figure précédente. Les pannes f', f' , sur lesquelles s'appuient les chevrons de brisis, sont portées, dans la fig. 6, par des chantignoilles à entailles pour les écarter des jambes de force; elles sont fixées par des boulons. Dans la

(1) Attendu que la construction de cette courbe, d'un usage très-fréquent, ne se trouve pas dans tous les Cours de géométrie, nous l'indiquons fig. 8, pl. XLII. $a b$, grand diamètre; $c d$, petit diamètre; $e e b$, triangle équilatéral construit sur $e b$; $e f$, est pris sur $e e$ égal à $e d$; la ligne $d f$ est prolongée jusqu'à ce qu'elle rencontre en g le côté $b e$; par le point g , la ligne $g z$, tracée parallèlement à $e e$, détermine les centres x et z de la courbe. Une ellipse est plus gracieuse et n'est guère plus difficile à tracer; elle est bien préférable. Nous aurons occasion d'en faire usage.

fig. 5, ces pannes sont soutenues chacune par un tasseau x assemblé dans les jambes de force et les chevrons correspondants. Les pannes f', f' , de la voûte en bois sont assemblées à tenons et mortaises dans les fermes; les chevrons $a' a'$, qui forment la voûte, sont taillés en dessous suivant sa courbure, comme le dessous des bois des fermes; ils sont assemblés sur les pannes à paume et cloués, et à tenons et mortaises sur le sous-faîte et les sablières. Les planches r, r , du revêtement intérieur, façonnées suivant la courbure de la voûte, sont clouées sur les chevrons; elles sont jointes à rainures et languettes, qui ne sont point indiquées vu la petitesse de l'échelle. Si la voûte en bois devait être en plein cintre, comme l'indiquerait l'arc de cercle $p k q$, fig. 5, on serait obligé, en conservant le même système de fermes, d'abaisser les salières z et les corniches intérieures, ou de changer le rapport du faux comble avec les brisis.

La fig. 4 de la pl. XLIII est une ferme pour un comble qui couvre une galerie et qui satisfait au cas dont il s'agit. Elle est tirée de la quatrième partie du second recueil de Krafft.

La demi-circonférence $z n z$, qui marque le cintre intérieur, étant divisée en six parties égales aux points p, x, v, x, p , et l'entrait e étant établi au-dessus du sous-faîte v , compris dans l'épaisseur de l'arc o , les rayons $x r$, tracés par les deuxièmes points de division déterminent, par leurs intersections avec le dessus de l'entrait, les points e de brisis. Les jambes de force s, s , sont établies de façon que leurs faces extérieures passent par ces points et par les points des blochets y , qui répondent à l'aplomb des parements extérieurs des murs. L'épaisseur du toit étant tracée en dehors des jambes de force, des points où elle rencontre la ligne de milieu de l'entrait e , pris comme centres, on décrit les arrondissements des pannes de brisis n . Un arc de cercle $n d n$, concentrique avec le cintre intérieur et tangent à ces arrondissements, coupe la verticale qui passe par le centre au point d , qui appartient à l'arête faîtière; par ce point on trace deux tangentes aux arrondissements des pannes de brisis; elles marquent les pans du faux comble. Des moises m, m , lient les jambes de force, l'entrait, le poinçon et les arbalétriers du faux comble et embrassent le cintre. Les pannes f, f , assemblées dans les arbalétriers h et dans les jambes de force s , soutiennent les chevrons des brisis et du faux toit. Les pannes intérieures f', f' , assemblées dans les arcs et suivant leurs cintres, reçoivent les chevrons qui forment la voûte. Les fermes sont portées de chaque côté sur quatre sablières b , qui moisent les blochets y .

§ 7. Toits en impériale.

Vers le temps où les combles de Mansard étaient le plus à la mode, on mit en vogue aussi des combles construits à l'instar de quelques-uns de ceux des anciens, en carène de vaisseau renversé (1). On leur a néanmoins donné le nom de combles en *impériale*, parce que leur forme ressemble aussi à celle d'une couronne d'empereur, surtout lorsqu'ils sont employés sur des pavillons ronds ou carrés.

La fig. 9 est une coupe dans un comble en *impériale* à deux égouts. Sur la verticale CD élevée au milieu de AB , largeur dans œuvre du bâtiment, on marque en D la hauteur totale que doit avoir le comble. Des deux côtés de cette verticale on porte la moitié de l'épaisseur DE du poinçon. L'épaisseur du mur étant représentée par AG , la ligne GE est la corde commune aux deux arcs de cercle qui doivent former le point du comble en *impériale* en se raccordant au milieu F de cette ligne. Sur les milieux x et z des deux cordes égales AF , FE on élève des perpendiculaires xH , zK ; elles donnent, par leur rencontre avec les horizontales AG , EK les centres H , K des deux arcs. Les points H , F , K doivent être en ligne droite si l'on a bien opéré.

On peut tracer le profil d'un comble en impériale par une autre méthode qui a, sur la précédente, l'avantage que les parties du toit où se font les raccordements des deux courbures ont la pente qui convient aux matériaux de couverture que l'on doit mettre en œuvre. Soit GP le minimum d'inclinaison que devrait avoir la toiture si elle était plane. CP étant le quart de CG , pente qui convient à une couverture en ardoises du dernier échantillon pour un pan de toit d'une très-petite étendue; après avoir élevé, au milieu de la ligne IG , une verticale QM , on trace par un point quelconque I de la même ligne IG , une perpendiculaire IJ à la ligne GP ; sur cette perpendiculaire on porte

(1) Les maisons du quartier de Rome situé entre le mont Esquilin et la porte Capène nommé *Carina*, étaient couvertes de toits courbés en forme de carène, présentant l'aspect de navires renversés (Rondelet, *Art de bâtir*, t. III, p. 81.)

$I J$ égal à $I G$, et par les points G, J on trace la corde commune $G E$ dont les intersections avec les verticales $Q M, I E$, donnent le point F de raccordement des arcs de cercle et la hauteur du comble; la tangente $G' P'$, commune aux deux arcs, est parallèle à $G P$. L'entrait c est posé de façon que sa ligne de milieu $p q$ passe par le point de raccordement F , afin que les arbalétriers h et h' , dont il reçoit les assemblages n'aient à participer qu'à une courbure dans un même sens. Les jambes de force en partie cintrées s s'assemblent sur des blochets y portés sur les sablières h, h' ; les arbalétriers convexes h s'assemblent par le bas sur ces mêmes blochets, et par le haut dans l'entrait; les arbalétriers concaves h' s'assemblent dans l'entrait par le bas et en haut dans les faces verticales du poinçon g , qui reçoit aussi les assemblages des sous-faites r et v ; les pannes f, f' sont assemblées à tenons et mortaises dans les arbalétriers, et elles reçoivent dans des entailles les assemblages des chevrons courbes a , comme dans les fig. 14 et 15 de la pl. XLI. Des liens i, i' , assemblés dans les arbalétriers, en écartent les pannes. Quant à la partie intérieure du comble, des aisseliers u et des jambettes courbes l , s'assemblent dans les jambes de force, l'entrait et les blochets. Les pannes inférieures $f' f'$, assemblées par travées dans les pièces cintrées des fermes, reçoivent les chevrons cintrés a' , sur lesquels on cloue les planches de revêtement en menuiserie ou les lattes d'un plafonnage. La courbure peut être une ellipse, ou une anse de panier, ou un cercle; dans ce dernier cas, en abaisse son diamètre en $A' B'$ sans rien changer au comble en *impériale*.

Les toits en impériale n'étaient employés que sur des pavillons ou sur des bâtiments qu'on voulait distinguer par les formes bizarres de leurs combles.

On fait, en Afrique et en Asie, des toitures dont la figure a quelques rapports avec celle des combles en *impériale*. Leurs formes sont représentées, fig. 2, 5 et 7; comme ces combles ne sont point en usage en Europe, et que d'ailleurs leur construction est analogue à celle que nous venons de décrire, nous ne donnons point de détails de leurs charpentes.

§ 8. *Toits cylindriques.*

On construit aujourd'hui, à Paris, des combles qui ont des avantages marqués sur ceux de Mansard; ils en diffèrent peu quant à la disposition intérieure de leur charpente, mais ils présentent extérieurement une forme cylindrique plus simple, en rapport avec les façades des maisons qu'on bâtit maintenant, et sous lesquels on trouve également un et même deux étages de logements, lorsque les largeurs des bâtiments s'y prêtent.

La fig. 44 de la pl. XLIII est une coupe d'un comble cylindrique de cette construction par un plan vertical. L'entrait *c* porte un plancher aussi bien que le tirant principal *t*. Ces deux pièces servent de poutre et doivent avoir un fort équarrissage, à moins qu'elles ne puissent être soutenues, comme les sablières ou chapeaux des pans de bois, par des poteaux verticaux formant au-dessous des cloisons de refend pour la distribution intérieure du bâtiment. Nous n'avons indiqué aucun de ces poteaux, sinon ceux *p* d'huissierie, pour l'entrée d'un corridor qui s'étendrait dans le milieu du bâtiment suivant sa longueur.

L'entrait *c* est soutenu par des jambes de force *s*, qui portent sur le tirant principal *t*. La stabilité des jambes de force est assurée par des aisselières *u*. Le second entrait *k* est également soutenu par des jambes de force *z* avec aisselières *v* et jambettes *i*; le tout est couronné par un assemblage du genre des faux combles en mansardes, composé de deux arbalétriers *h*, *h'*, et d'un poinçon *g*, qui reçoit le faitage *d*.

Les chevrons *o*, *o'*, sont taillés suivant la courbure cylindrique; les pannes *f*, *f'*, sont soutenues par des tasseaux *p* assemblés dans les jambes de force et dans les chevrons correspondants; elles sont écartées des jambes de force, suivant la courbure des chevrons, par des cales *x*, *x'*. Les eaux du toit sont recueillies dans des chéneaux établis sur la corniche des murs *m*. Sur la droite de la figure, nous avons indiqué le cas où les pannes sont soutenues par des murs *n* de refend. Plusieurs de ces sortes de combles ne sont établis que sur la partie du bâtiment qui est du côté de la rue, le toit est plat du côté de la cour et soutenu, suivant la pente usitée, par le mur de face *m'* élevé jusque sous l'égout, comme nous l'avons indiqué en lignes ponctuées sur la même figure. Le mur de refend *n'*, dans le sens de la longueur du bâtiment, répond au corridor dont nous avons parlé plus haut.

§ 9. Toits en appentis.

Les appentis peuvent couvrir des bâtiments isolés, ou être appuyés comme dépendances contre d'autres bâtiments, circonstance d'où leur est venu leur nom (1). Une toiture en *appentis* est soutenue par des fermes transversales qui sont la moitié de celles d'un toit à deux égouts. Nous n'en donnons pas de dessin, parce qu'il reproduirait à peu près un côté d'une des fermes que nous avons décrites. Chaque ferme transversale d'un toit en appentis est ordinairement composée d'un demi-tirant horizontal scellé par un bout dans la muraille contre laquelle l'appentis est construit, et portant de l'autre sur la paroi qui répond à l'égout du toit, d'un seul arbalétrier assemblé par le bas dans le demi-tirant et par le haut dans un poinçon attaché contre le mur par des liens en fer à scellements, et quelquefois assemblé dans le tirant, ou recevant même l'assemblage du tirant. Ce poinçon a pour objet de recevoir le tenon de l'arbalétrier et celui de son lien. Le mur d'adossement fait l'office d'une ferme longitudinale. Les appentis comportent de faux demi-entrails, mais ils n'ont jamais assez d'étendue en largeur pour qu'il soit nécessaire d'y employer de véritables demi-ontraits ni des jambes de force.

Dans les appentis qui ont peu de largeur, on supprime souvent les poinçons et les faitages, les arbalétriers et leurs liens sont scellés dans le mur, les bouts supérieurs des chevrons s'y appuient sans scellements; tout le reste du toit est construit comme ceux à deux égouts. Nous renvoyons quelques cas particuliers aux planches du tome second, sur lesquelles nous avons réuni diverses constructions accessoires. Lorsqu'un appentis est établi isolément et qu'il n'y a pas de mur pour l'y appuyer, ce mur peut être remplacé par un pan de bois qui s'élève jusqu'au faitage; on peut même soutenir un appentis sur des poteaux.

Les toits en berceau cylindrique et en impériale, et ceux à la Mansard, peuvent au besoin être établis en appentis.

(1) Du latin *ædium appendix*.

§ 10. *Arêtiers et noues.*

Les combinaisons des toits plans qui produisent les combles en pavillon, les croupes et les noues, nécessitent dans la construction de ces combles des pans de charpente horizontaux et verticaux qui ont pour objet de maintenir les angles que les pans des toits font entre eux, et de soutenir les pièces qui forment les arêtes, les extrémités des pannes et les chevrons qui sont tronqués et qui ne peuvent pas atteindre leurs points d'appui ordinaires.

La fig. 6, pl. XLIV, est le plan de l'enrayure à hauteur des sablières de la croupe droite comprise dans le rectangle ponctué 1-2-3-4 du plan général d'un comble, fig. 8.

La fig. 4 est la projection verticale d'une ferme transversale du même comble, sur le plan d'une coupe du bâtiment, suivant la ligne *AB* de la fig. 6.

a, chevrons; *g*, poinçon (1); *c*, tirant d'une ferme transversale; *s*, *s*, sablière; *t*, tirant de la ferme dont le poinçon de croupe *g* fait partie; les mortaises dans lesquelles doivent s'assembler les arbalétriers, le poinçon, les goussets et le tirant de croupe, sont marquées sur cette pièce; *d*, tirant de croupe qui porte d'un bout sur le mur de croupe et qui est assemblé de l'autre bout dans le tirant *t*. Cet assemblage est souvent consolidé par un ferrement qui n'est point marqué dans le dessin. La ferme de croupe est établie sur ce tirant. Cette ferme fait partie de la ferme longitudinale ou de *sous-faîte* et la termine. *p*, *p*, goussets assemblés à tenons et mortaises; on consolide leurs assemblages par un boulon à chacun : on peut

(1) On termine quelquefois la tête d'un poinçon de croupe ou de noue en pyramide, fig. 4, pl. XLIV, ou en cône qui s'élève au-dessus du faite d'une hauteur égale à quatre ou cinq fois l'équarrissage du poinçon. On couvrait jadis les poinçons par une sorte de pot en faïence de forme bizarre et colorié; aujourd'hui on se contente d'un étui en métal ou de peindre le bois. On substitue souvent à ces pointes des boules creuses en cuivre et dorées, fig. 3, pl. XLIV, dont la base s'emboîte sur la tête du poinçon et forme tout autour une bavette qui s'étend sur les pans de la couverture. Les girouettes et les lances des paratonnerres s'établissent sur les poinçons.

aussi les convertir en moises. Ces goussets ont pour objet de recevoir les assemblages des coyers qui n'auraient point de solidité s'ils étaient réunis à celui du tirant de croupe; ils ont encore pour objet de maintenir la position du tirant de croupe à l'égard du grand tirant. r, r , coyers ou tirants d'arêtières sur lesquels les fermes arêtières sont établies. Ils portent par un bout sur les encoignures des murs et sont assemblés, par l'autre bout, à tenon et mortaise dans les goussets p, p ; leurs assemblages sont quelquefois consolidés par des bandes de fer, à moins qu'ils ne soient moisés par les goussets. Les pas des chevrons et des empanons sont marqués de la lettre m sur les sablières des longs pans et de la lettre n sur la sablière de croupe.

La combinaison du long tirant t , du tirant de croupe d , des deux goussets p et des coyers r , forme ce qu'on appelle une *enrayure*, à cause de sa ressemblance avec les rayons ou raies d'une roue.

La fig. 7 est la projection horizontale de la croupe garnie de ses chevrons a et des empanons a' des longs pans, de son chevron o et de ses empanons o' de croupe.

La fig. 5 est la projection verticale de la même croupe sur un plan parallèle à la façade $x y$ du mur de croupe, sur laquelle on voit le poinçon q , les chevrons arêtières a'' , le chevron o et les empanons o' de croupe.

La fig. 12 est une autre projection verticale de la même croupe sur un plan parallèle au mur de long pan $z x$, et sur laquelle sont marqués les chevrons a et les empanons a' de longs pans. On voit aussi sur cette projection le poinçon q et un chevron d'arêtier a'' .

Les chevrons a'' , a'' appartiennent aux fermes arêtières. Ils ont pour unique objet de recevoir les assemblages des empanons afin de les soutenir. Nous avons supposé, dans la construction de cette croupe, que le peu de longueur des chevrons dispensait des pannes et des arbalétriers. Nous ferons les mêmes suppositions pour les quatre figures suivantes, afin de simplifier les projections, qui n'ont d'ailleurs pour objet que de faire voir les positions des fermes, des chevrons et des empanons qui répondent aux arêtes saillantes et creuses dans la construction des toits dont les rencontres produisent ces arêtes. Nous donnons, pl. XLVII, deux exemples dans lesquels les pannes et les arbalétriers se trouvent employés et représentés complètement, et nous retrouverons encore, dans le chapitre suivant, les détails sur l'emploi de ces pièces, qui sont indispensables, quand les chevrons ont une longue portée.

Le pan de croupe fait avec l'horizon un angle $q r t$, fig. 12, beaucoup

plus raide que celui $q r d$, fig. 5, des longs pans. Les motifs de cette différence sont : 1° que le tirant de croupe d n'étant assemblé qu'au tirant t , il n'a pas une liaison complète dans la ferme longitudinale sur la direction de laquelle il se trouve; que, par conséquent, il n'a pas pour résister à la poussée de la croupe la même force que les tirants entiers des fermes transversales, il convient donc, pour diminuer la poussée du pan de croupe, de lui donner plus de raideur; 2° si on laissait au pan de croupe la même pente qu'aux longs pans, le poinçon de croupe se trouverait placé au point h , fig. 7, et les arêtiers auraient les positions $h x$, $h y$, ce qui leur donnerait une longueur trop considérable, puisqu'elle serait à celle des chevrons des longs pans dans le rapport de $\sqrt{3}$ à $\sqrt{2}$ (à peu près comme 17 est à 14), si les pentes égales des longs pans et de croupe étaient de 45 degrés. L'usage est de faire la base de la pente du pan de croupe égale aux $\frac{2}{3}$ de la base de la pente d'un des longs pans, c'est-à-dire $q u$ les $\frac{2}{3}$ de $q w$; ce qui donne environ 13 et 14 pour le rapport de la longueur des arêtiers à celle des chevrons de long pan dans la même hypothèse. Cette proportion s'accorde aussi avec la distribution des fermes transversales sur la longueur du bâtiment et avec la distribution des fenêtres sur les longues façades.

La fig. 8, pl. XLV, est une projection horizontale d'une croupe biaisée comprise dans le rectangle 5-6-7-8 du plan général d'un grand comble, fig. 8, pl. XLIV.

Les fig. 10 et 12, pl. XLV, sont deux projections horizontales de deux croques biaisées, comme celle comprise dans le rectangle 17-18-19-20. Les fig. 7, 9, 11 sont les projections verticales de ces mêmes croques sur un plan vertical perpendiculaire aux longues façades des bâtiments.

Les mêmes lettres désignent, sur ces projections, les pièces des mêmes noms que ceux des pièces de même espèce projetées sur la planche précédente.

Les trois croques biaisées auxquelles se rapportent ces projections ont pour objet de faire voir quelles positions on peut donner aux fermes, aux chevrons et aux empanons. Dans les fig. 7 et 8, les fermes transversales ou de long pan $A B$, $D E$, les chevrons a et les empanons a' des longs pans sont parallèles au mur de croupe $x y$.

La ferme longitudinale suivant $C q$, la ferme de croupe suivant $q F$ qui en fait partie et les empanons de croupe a' sont parallèles aux longues façades du bâtiment. Tous les chevrons sont délardés, c'est-à-dire que leurs coupes perpendiculaires à leurs arêtes, au lieu d'être des rectangles,

sont des rhombes ou parallélogrammes, afin que deux de leurs faces soient verticales.

Dans les fig. 9 et 10 les fermes $A B D E$ et les chevrons a sont perpendiculaires à la longueur du bâtiment; la ferme longitudinale, ou sous-faîte $C g$, est parallèle à cette même longueur; mais la ferme de croupe $q F$ n'est pas dans son prolongement; le chevron et les empanons, tant des longs pans que des pans de croupe, sont perpendiculaires aux sablières. Tous les chevrons et empanons sont en bois équarri, et leurs faces latérales sont perpendiculaires aux pans des toits.

Dans les fig. 11 et 12 les fermes transversales et les chevrons des longs pans ont les mêmes positions que dans les fig. 7 et 8; les empanons de croupe sont projetés comme dans les fig. 7 et 8, ils ont leurs directions parallèles à celle du faîtage; mais, afin de n'y employer que des bois équarris, par économie de matière et de travail, ils sont tournés sur leurs axes, de manière que chacun d'eux a une de ses faces dans le plan du toit et que ses deux faces latérales lui sont perpendiculaires. Les empanons ainsi établis sont nommés *empanons déversés*, parce qu'ils sont effectivement en dévers par rapport à la position plus régulière de ceux de la croupe, fig. 7 et 8.

La fig. 2, pl. XLVI, est la projection horizontale du nœud des combles de deux bâtiments A, B , fig. 8, pl. XLIV, compris dans le rectangle 9-10-11-12. La fig. 4, pl. XLVI, est une coupe du bâtiment D sur la ligne $M N$ du plan, fig. 2, sur laquelle les deux parties du comble du bâtiment A sont projetées. C'est le poinçon commun aux quatre fermes diagonales, dites *fermes de noues*, parce qu'elles soutiennent les quatre *noues* $C A, C E, C O, C U$, et aux quatre faîtages f, f , répondant aux deux fermes longitudinales $f C f, f' C f'$ des deux bâtiments.

Les quatre poinçons marqués g appartiennent aux quatre fermes transversales $A g E, E g O, O g U, U g A$ des deux bâtiments, entre lesquelles les noues se trouvent. Les pièces marquées s, s' , sont les sablières. Les chevrons d'un bâtiment sont marqués de la lettre a ; les empanons du même toit sont marqués a' ; les chevrons et les empanons de l'autre bâtiment sont marqués o, o' . Les empanons sont assemblés par le bas dans les noues. Les bâtiments étant d'égales largeurs et se rencontrant à angle droit, les quatre noues sont égales.

La fig. 4, pl. XLVI, est la projection horizontale de la partie d'un comble répondant au nœud biais de deux bâtiments A, B , fig. 8, pl. XLIV, comprise dans le rectangle 13-14-15-16.

La fig. 3, même pl. XLVI, est la projection verticale de cette partie de comble sur le plan d'une coupe faite suivant la ligne $U O$ de la fig. 4.

Les bâtiments, quoique égaux en largeur, se coupant sous un angle qui n'est pas droit, les noues CA, CE, CO, CU sont inégales, ou plutôt elles sont égales deux à deux. Le poinçon C leur est commun ainsi qu'aux fermes longitudinales des deux bâtiments répondant sous les faitages marqués $f f$. Les chevrons a, o sont dirigés perpendiculairement aux faitages des bâtiments auxquels ils appartiennent; les empanons $a' o'$ ont les mêmes directions que les chevrons; ils s'appuient par le haut contre les faitages et dans le bas ils s'assemblent dans les noues à tenons et mortaises. Les chevrons, également appliqués contre les faitages, sont embrevés dans les sablières.

Quatre poinçons, dont un seul est projeté en g , appartiennent aux quatre fermes transversales des combles, entre lesquelles sont les quatre noues; l'étendue du dessin n'a permis que d'en projeter une seule $U g O$. Quand l'angle sous lequel les bâtiments se rencontrent diffère beaucoup d'un angle droit, la distance du poinçon g , d'une ferme transversale $U g O$ au poinçon C est trop grande pour que le faitage $C f g$ et les pannes, lorsqu'il y en a, puissent se soutenir d'une seule portée entre la ferme transversale $U g O$ et les fermes de noue CU, CO . On établit alors dans la direction des murs des façades quatre fermes transversales biaises $a g' e, e g' o, o g' u, u g' a$, dont les poinçons, marqués g' , soutiennent les faitages qui s'y assemblent, et leurs arbalétriers soutiennent les pannes. Si les murs des façades sont prolongés intérieurement, comme celui ponctué de O en U , pour former des refends s'élevant en pignons jusque sous les charpentes des toits, ils dispensent des fermes biaises et ils soutiennent les faites et les pannes.

Lorsque les bâtiments qui se rencontrent et se croisent n'ont pas une grande saillie les uns sur les autres, comme dans la projection horizontale, fig. 10, pl. LI, que les extrémités soient terminées, comme en $m n$, par des pignons ou qu'elles forment, comme en $p q$, des croupes biaises, il n'y a pas assez de distance entre ces extrémités et les noues pour qu'on puisse établir des fermes transversales perpendiculairement aux faitages et aux façades qui forment les angles rentrants du plan du bâtiment; on est, conséquemment, forcé d'établir les fermes transversales d'un comble, parallèlement aux faitages de l'autre comble: ainsi, les fermes transversales du bâtiment AA , seront parallèles aux faitages du bâtiment BB , et réciproquement.

La fig. 14, même planche, est la projection horizontale des noues, pour le cas dont il s'agit. Cette fig. représente le détail de la partie enfermée dans le rectangle 1-2-3-4, fig. 10. Toutes les pièces de bois sont marquées des mêmes lettres que celles comprises dans les projections de la pl. XLVI. La seule différence qui se fait remarquer, c'est que dans cette figure les chevrons *a* et les empanons *a'* sont dans des directions parallèles aux faitages *f, f*, et que les chevrons *o* et les empanons *o'* sont dans des directions parallèles aux faitages *f', f'*, parce que les fermes *E g O*, *O g U*, *U g A* et la ferme *A g E*, que le dessin ne représente pas, faite d'espace, sont nécessairement parallèles aux faites *f C f*, *f' C f'*. Sur la droite de la figure, les chevrons et les empanons sont *déclardés* et sur la gauche ils sont *déversés*. Les chevrons sont appuyés aux faitages et embovés dans les sablières *s, s*, les empanons, appuyés également contre les faitages, sont assemblés dans les noues. Mais il peut arriver que la distance entre les arêtiers et les noues soit tellement réduite par l'effet du peu de saillie d'un bâtiment sur l'autre, comme dans la fig. 7, même pl. LI, qu'on soit forcé d'assembler les empanons en même temps dans les arêtiers et dans les noues; c'est ce que représente la projection horizontale, fig. 5, pour la partie du comble projetée aussi horizontalement. fig. 7 et comprise dans le rectangle 5-6-7-8. La croupe biaise est si rapprochée des noues qu'il n'y a pas d'espace entre le poinçon *G* des arêtiers et celui *C* des noues, pour établir une ferme de long pan. Dans ce cas, la ferme de croupe projetée sur *G r*, concourt avec la ferme longitudinale établie sous les faitages *f*, au soutien du poinçon *G*, sur lequel s'appuient les arêtiers *p G*, *q G*; ces arêtiers sont si rapprochés des noues, qu'il ne peut pas y avoir de chevrons, mais seulement des empanons *a'* qui s'assemblent en même temps d'un bout dans les arêtiers *p G*, *q G*, et de l'autre bout dans les noues *C z*, *C v*, qui sont biaises, vu que les bâtiments *A, B*, fig. 7. n'ont point des largeurs égales.

§ 11. Pavillons à cinq épis. *

Les fig. de la pl. XLVII sont des applications du paragraphe précédent, et elles complètent la description des arêtiers et des noues. Les deux charpentés que nous y avons représentés sont, quant à leurs formes générales, tirées des pl. VIII, IX et X du Traité de N. Fourneau. Nous avons représenté toutes les fermes avec toutes les pièces qui entrent dans leur construction; les assemblages sont projetés d'après des épures faites sur une plus

grande échelle, et nous avons eu intention, en dressant cette planche, de faire voir comment on représente complètement la charpente d'un comble, lorsqu'on en fait le projet dont nous avons parlé chap. IX : 1° il ne manque à cet égard aux figures de la pl. XLVII que les cotes des dimensions des combles et des équarrissages des bois; mais leur multiplicité eût compliqué les figures et nuï à leur aspect vu la petitesse de l'échelle.

La nomenclature que nous avons donnée, dans les paragraphes précédents, pour les différentes pièces qui entrent dans la composition d'une charpente, nous dispense de désigner de nouveau celles des charpentes de notre planche XLVII par des lettres.

La fig. 1 est le plan général du comble d'un pavillon dit à cinq épis (1), vu qu'il y a cinq poinçons autour desquels des bois sont assemblés et rayonnent, savoir : le poinçon central *c* des noues et les quatre poinçons *m*, *p*, *n*, *q* des quatre croupes. Ce qui rend la construction de ce comble remarquable, c'est qu'il n'y entre aucune ferme transversale de long pan et qu'elle ne se compose que de fermes longitudinales, de fermes de croupes, de fermes de noues et de fermes d'arêtiers.

La fig. 2 représente une des deux fermes longitudinales, situées sous les faitages et dans le prolongement des fermes de croupe qui en font partie; cette ferme est entièrement projetée sur le plan horizontal en 1-*m-c-n-q*; l'autre ferme longitudinale n'est projetée horizontalement qu'en partie sur 5-*p-c*, faute d'espace sur le plan.

Sur la fig. 2 nous avons projeté en ligne ponctuée la ferme type, de laquelle toutes celles qui entrent dans la composition de ce comble sont déduites. Cette ferme ponctuée peut être regardée comme la projection verticale des pans de toits 3-4-*p-c*, 7-6-*p-c*; elle pourrait être aussi la projection de deux autres pans du même comble égaux à ceux-ci.

La fig. 3 est une projection verticale d'une des fermes arêtières, de celle, par exemple, projetée horizontalement en *n-8*, ou de l'une quelconque des sept autres qui lui sont toutes égales.

La figure 4 est enfin une projection verticale d'une des fermes de noue, par exemple, de celle *c-7*, ou de l'une des trois autres qui lui sont toutes égales.

(1) Les charpentiers appellent *épi*, dans la construction d'un comble, la réunion de plusieurs pièces de bois autour d'un poinçon; ainsi, le comble d'un pavillon est à un seul épi; la partie d'un comble où se réunissent quatre noues est à un épi. La fig. 4, pl. LIX, représente un comble à deux épis, et la fig. 2 un comble à trois épis.

En outre des projections des fermes sur le plan, nous avons tracé celle de l'enrayure et celle des pannes et des empanons.

La fig. 6 est le plan général d'un comble, également à cinq épis, qui diffère du précédent en ce qu'étant établi sur un pavillon dont le plan est un carré, les arêtiers et les noues concourent, pour chaque angle, à un seul point.

La fig. 8 est une projection horizontale de la charpente de ce pavillon; la fig. 5 est une partie de la projection verticale de l'une de ces deux fermes longitudinales 1-m-c-n-9. La ferme ponctuée de la fig. 2 a encore servi de type pour la construction des fermes de ce pavillon. La fig. 3 et la fig. 4 conviennent aux projections verticales des fermes d'arêtiers et des fermes de noues de ce pavillon, comme aux mêmes fermes du pavillon précédent; elles n'en diffèrent que parce que les arbalétriers et les chevrons d'arêtiers et de noues se réunissent et sont déjoutés, en s'assemblant par le bas, sur les tirants et coyers qui se réunissent également, dans leurs portées, sur les sablières aux angles du pavillon.

Vu le peu de longueur des empanons entre les arêtiers et les noues, on supprime les pannes des longs pans, que nous avons ponctuées en x et y pour rappeler la disposition qu'elles auraient si l'on voulait les conserver dans ces parties des combles pour compléter la régularité de l'aspect intérieur du comble.

L'étude de cette charpente prendra un nouveau degré d'intérêt quand on aura lu le chapitre suivant, consacré à la description des épures.

Rondelet a voulu généraliser la construction du comble à cinq épis, en donnant pour exemple, pl. LXXVII de l'*Art de bâtir*, le tracé d'un comble sur un pavillon irrégulier; mais il a choisi un cas tout particulier, et sa méthode n'est pas générale. La projection horizontale du poinçon central d'un pavillon à cinq épis, comme d'un pavillon à un seul épi, doit être au centre de gravité de la surface du plan; encore faut-il que, dans cette disposition, l'aspect du comble, vu du dehors, soit satisfaisant. Mais, en général, on doit éviter dans le plan d'un pavillon une trop grande irrégularité, qui produit toujours un aspect désagréable au dehors et un agencement difficile et peu gracieux au dedans.

Fourneau a donné un cinq épis biais; nous ne le reproduisons pas, vu que ce que nous avons dit des croupes et des noues biaisées est suffisant, et que nous laissons leur application à un cinq épis biais, comme une bonne étude à faire.

§ 12. Équarrissage des bois employés dans les combles.

DIMENSIONS DES FERMES en mètres.			ÉQUARRISSAGES en millimètres.								
LARGEURS	HAUTEURS	ÉCARTEM.	TIRANTS	JAMBES de FORCE.	EXTRAITS.		ARRALÉ- TRIERS.	LIENS.	POINÇONS.	PANELS.	CHEVRONS.
					1 ^{er} .	2 ^e .					
m.	m.	m.									
6,50	3,25	3,25	245 à 270		190 à 190		190 à 215	135 à 160	190	135	
8	5	3,60	270—300		190—215		190—215	160—190	215	135	
10	6,50	4	300—350		215—245		215—245	160—190	215	160	110
12	8	5	325—380	245—325	245—270	215—245	245—270	190—215	245	190	
14	9	7,50	350—405	325—380	245—270	215—245	270—300	190—215	270	215	

CHAPITRE XIV.

ÉPURES.

Les épures, dont nous avons déjà parlé page 305, ont pour objet de déterminer, par des opérations graphiques exactes, les projections d'un ouvrage en charpente, afin d'étudier les formes de ses assemblages et les combinaisons des différents pans qui concourent à sa composition.

Les détails à exprimer dans l'étude d'un assemblage ont souvent moins d'un centimètre de largeur; ils peuvent même se présenter sous des apparences plus petites encore dans le sens où ils doivent être projetés. Pour qu'ils soient sensibles dans une épure et figurés avec précision, la proportion de la réduction de leurs dimensions ne doit pas être trop petite. L'échelle à $\frac{1}{5}$ pour les mesures métriques conviendrait le mieux, s'il ne devait pas s'ensuivre que la représentation d'une ferme, d'une dizaine de mètres de portée seulement, exigerait un dessin de plus de deux mètres de largeur et d'une hauteur presque égale. En outre, qu'une épure aussi grande serait difficile à construire avec précision, sans l'aide d'un compagnon, elle serait surtout incommode pour l'usage; elle ne présenterait de détails utiles pour l'étude que dans les parties où les assemblages se trouveraient placés, le reste de sa surface, comme vide ou seulement traversé par quelques lignes, serait difficile à embrasser d'un coup d'œil et dénué d'intérêt. Afin de réduire l'étendue des épures, de n'y tracer que des lignes d'une médiocre longueur et de rapprocher les projections des assemblages qui sont liés par quelques rapports, les charpentiers se servent simultanément de deux échelles: l'une assez grande pour les dimensions en tout sens des assemblages et pour les deux dimensions d'équarrissage des bois, permet de rendre sensible et de figurer exactement les plus petits détails, même ceux qui se présentent obliquement aux projections;

l'autre, pour les dimensions dans l'œuvre des bâtiments et les longueurs des pièces de bois, est dans une proportion assez petite pour qu'on puisse représenter sur une feuille de papier de médiocre étendue une charpente de la plus grande dimension. Les épures, dont nous allons expliquer la construction, devant être contenues dans les dimensions de nos planches, nous avons pris dans toutes nos épures (1), pour la plus grande des deux échelles, le rapport de $\frac{1}{10}$ et pour la petite celui de $\frac{1}{40}$.

Nous choisissons pour exemples de la construction des épures de charpenterie les cas que présentent les arêtes saillantes et les arêtes creuses que forment les croupes et les nœuds des combles dont la surface extérieure et la surface intérieure sont planes, parce qu'elles présentent à peu près toutes les positions que peuvent avoir les pièces de bois les unes à l'égard des autres, et qui se retrouvent dans les autres genres de construction en charpente.

Le meilleur moyen d'étudier les épures, c'est de les construire en augmentant un peu les données principales de celles que nous présentons comme exemples. On doit apporter le plus grand soin dans la construction des épures pour obtenir des résultats exacts. Lorsqu'on a fait la projection d'un point, on doit, autant que cela se peut, vérifier la précision de sa position par une construction différente de celle dont on s'est servi pour l'obtenir. Sans cette précision, vérifiée à chaque pas, on risque de se perdre dans un dédale de points et de lignes dont il ne serait plus possible de tirer aucun parti.

Vu la grande quantité de lignes parallèles, dont on fait usage, dans une épure de charpenterie, on les trace, lorsqu'elles ont peu d'étendue, au moyen d'une équerre qu'on fait glisser le long d'une règle; mais lorsqu'elles sont fort longues, il est préférable de déterminer leurs positions par des distances égales marquées à leurs extrémités sur des perpendiculaires, moyen qu'il faut toujours employer pour les épures en grand ou *ételons*. On peut aussi se servir d'une équerre pour tracer des perpendiculaires qui n'ont point une grande longueur, et lorsqu'on est certain de la parfaite exactitude de l'équerre; mais pour les perpendiculaires qui ont une grande étendue, on doit construire les points qui déterminent leur position avec le compas, écarter ces points le plus possible, et par ce moyen tracer les perpendiculaires sans le secours d'aucune équerre.

(1) Les échelles des épures ne sont tracées que sur la pl. XLIX.

Les lignes horizontales et les lignes verticales étant celles qui se reproduisent en plus grand nombre et qui servent à la disposition générale des projections, les charpentiers sont dans l'usage d'établir sur leurs épreuves, et avant de les commencer, un *trait-carré* composé de deux lignes droites qui se croisent à angle droit au milieu du papier, et qui servent de repère, soit à l'équerre, soit aux distances égales pour tracer d'autres lignes qui doivent leur être parallèles. Les côtés du cadre qui entoure l'épure doivent être parallèles aux lignes du *trait-carré*, et établis avec la même précision, sans le concours de l'équerre, afin qu'ils puissent également servir de repère pour les parallèles qui en sont rapprochées.

§ 1. *Croupe droite et empanons droits.*

La planche XLVIII contient l'épure de la *croupe droite* comprise dans le rectangle 1-2-3-4 de la fig. 8, pl. XLIV, et dont la charpente est représentée dans son ensemble par les cinq premières figures de la même planche.

La première opération à faire lorsqu'il s'agit de la construction d'une épreuve, est, après le tracé du *trait-carré* et du cadre, l'établissement des bases du problème, qui sont ici le plan de la partie du bâtiment qui est couverte par la croupe et la hauteur du comble, dont on conclut les profils des pentes des toits. Sur la fig. 6 de la pl. XLVIII, qui est le plan de la croupe, les lignes *AB*, *ED*, marquent les traces des projections horizontales des parois verticales intérieures des murs longitudinaux, des bâtiments sur lesquels on suppose que le comble est établi. La ligne *BD* est la trace ou projection horizontale du parement intérieur du mur qui répond au pan de croupe du toit; ce mur rencontre à angle droit les deux premiers, ce qui fait que la croupe est droite. Le rectangle *ABDE* est construit sur la plus petite des deux échelles, celle au $\frac{1}{30}$. La ligne *FC* est la direction de la grande ferme longitudinale que l'épure ne comprend point, vu qu'elle n'est pas nécessaire à la construction de la croupe qu'il s'agit d'étudier. Le point *C* est la projection horizontale du sommet de l'angle trièdre de la croupe. Ce point est aussi la projection de l'axe vertical du poinçon de croupe. La ligne *ACE* marque en projection horizontale l'emplacement de la ferme transversale commune aux longs pans et à la croupe, et contre laquelle s'appuient les autres fermes de la croupe. La position du point *C* est choisie sur la ligne, *FC*, de façon qu'il y ait entre *FC*, projection horizontale de la largeur du pan de la croupe, et *AC* ou *EC*, projec-

tion horizontale de la largeur de l'un des longs pans, le rapport dont nous avons parlé, page 485, pour que la pente du toit de croupe soit convenablement plus raide que celle des longs pans. CD et CB sont les projections horizontales des deux arêtes formées par la rencontre des deux longs pans et du pan de croupe.

La fig. 2 est la projection verticale de la ferme transversale du grand comble qui doit être établie sur la ligne ACE du plan, fig. 6. OG est la hauteur intérieure du comble; elle est donnée soit par l'angle qui règle la pente du toit, soit par le rapport que la hauteur du comble doit avoir avec sa portée; GA, GE , sont conséquemment les traces ou profils des parois intérieures du comble. Le triangle AGE est construit sur la petite échelle.

$C1, C2$, sont les traces des parois extérieures des toits parallèles aux deux premières. Ces deux lignes marquent les épaisseurs égales des chevrons du grand comble, mesurées sur la plus grande échelle. De ces premières données, on déduit tous les détails de l'épure.

L'équarrissage des sablières s, s , étant tracé sur la fig. 2 d'après la grande échelle, on établit leur largeur en projection horizontale, fig. 6, par des lignes fe, be , parallèles à CE , et dont les rencontres avec les prolongements des projections des arêtes CB, CD , donnent la position de la ligne ec , qui marque sur le plan la largeur de la sablière de croupe (1).

Les lignes 1-3, 2-4, marquent les abouts des chevrons et empanons des longs pans sur le dessus des sablières en projection horizontale, et la ligne 3-4 marque sur la même projection les abouts du chevron et des empanons de croupe. Les pas des chevrons et empanons se trouvent compris entre les lignes AB, BD, DE , et les lignes 1-3, 3-4, 4-2. Les parallélogrammes formés par toutes les lignes parallèles aux données AB, BD, DE , sont semblables, vu que leurs angles se trouvent sur les diagonales CB, CD . Ordinairement tous les murs ont la même épaisseur; les arêtes CB, CD , devant toujours passer par les angles e, e , que font les parois extérieures, on n'a point égard à la position du parement intérieur du mur de croupe.

La fig. 7 est la projection verticale de la demi-ferme de croupe sur un

(1) Les sablières sont supposées ici assemblées dans les tirants et coyers, ce qui ne change rien à la détermination des pas des chevrons et empanons, pour laquelle les sablières sont défigurées sur l'épure.

plan qui lui est parallèle, et couché à droite sur le plan de l'épure. Cette ferme est le prolongement ou l'extrémité de la ferme longitudinale dite ferme *sous-faîte*. L'axe du poinçon de croupe est sur le prolongement de la ligne $A E$, et la hauteur $O C$ est égale à la même hauteur $O C$ de la projection verticale, fig. 2, sur laquelle elle est prise.

Le point F , fig. 7, est déterminé par le prolongement de la ligne $B D$ du plan, la largeur de la sablière de croupe s est relevée de la projection horizontale par le prolongement de la ligne $e c$, et le point k , about des chevrons de croupe, est déterminé par le prolongement de la ligne des abouts 3-4 du plan. Les lignes $F G$, k, C , fig. 7, dont l'écartement est égal à l'épaisseur du toit de croupe, sont nécessairement parallèles par suite des constructions qui viennent d'être décrites, et de la loi des homologues d'un pan à un autre, que les charpentiers s'imposent dans leurs ouvrages (1).

Nous avons marqué les pièces de bois des mêmes lettres dans toutes les figures de l'épure; elles sont aussi à un petit nombre près les mêmes que celles qui nous ont servi à désigner les mêmes pièces dans les planches précédentes. Autant qu'il nous a été possible, nous avons aussi marqué dans toutes les figures les projections d'un même point de la même manière. Vu la multiplicité des points, nous avons été forcés d'employer des chiffres; nous avons été forcés aussi, par la même raison, de répéter des lettres, pour marquer des points différents; mais comme elles ne se trouvent jamais combinées sur des lignes différentes avec les mêmes lettres, ces répétitions ne peuvent avoir aucun inconvénient.

Nous n'avons composé les fermes représentées dans les épures des pl. XLVIII, XLIX, L, LI, LII, LIII, que d'un tirant, d'un poinçon et de deux

(1) Les charpentiers concluent toutes les formes et lignes d'un ouvrage droit ou biais, surhaussé ou surbaissé, d'un parallépipède rectangle ou rhomboïdal dans lequel on peut l'inscrire. Ils considèrent ce parallépipède comme résultant d'un cube dont les arêtes parallèles et les faces parallèles ont varié simultanément dans le même sens et dans le même rapport d'étendue ou d'inclinaison, ou de l'un et l'autre en même temps. Les positions des lignes et des plans, et même les formes et positions de leurs surfaces courbes, s'il s'en trouve dans le parallépipède ou dans la charpente à laquelle il sert de type, sont déterminées par les positions et les formes de leurs homologues, dans le cube originaire. Cette considération, très-féconde en moyens de solutions dans les ouvrages en charpente, revient aux variations qu'en fait subir simultanément aux coordonnées, d'un point, d'une ligne, ou d'une surface rapportées à trois plans qui peuvent varier aussi.

pièces inclinées suivant les pentes du toit. Pour simplifier l'épure, nous considérerons ces deux pièces comme arbalétriers ou comme chevrons, suivant que nous aurons à étudier les assemblages des uns ou des autres. Nous n'avons point établi dans les fermes figurées sur les épures les liens, les ais-seliers, les jambettes, ni les entrails qui s'y trouvent ordinairement, parce que leurs assemblages ont les mêmes formes que ceux détaillés dans nos épures pour les pièces qui s'y trouvent figurées.

La première pièce à établir sur l'épure est le poinçon de croupe qui est commun à toutes les formes qui rayonnent en *épi* autour de lui, et qui concourent à la ferme de la croupe.

Le poinçon et la ferme transversale des longs pans dont il fait partie doivent être dévoyés, c'est-à-dire que les véritables axes des pièces ne doivent pas se trouver dans le plan vertical passant par la verticale OC et l'horizontale AB , fig. 2 et 6, mais bien dans un plan vertical parallèle choisi de façon que la ferme se trouve partagée par le premier plan dans le rapport des largeurs des longs pans et du pan de croupe, pour que les arêtes verticales du poinçon et celles de la pyramide ou de la pointe de diamant qui le couronne soient dans les plans verticaux des arêtes de la croupe projetées horizontalement sur les lignes CB , CD .

Pour dévoyer le poinçon, ayant tracé par le point w de son axe en projection verticale, fig. 2, la ligne 26-27, qui marque la hauteur de sa tête, on prend sur cette ligne w 26, w 27, égales à sa demi-largeur; les mêmes largeurs sont marquées de C en u et v sur la projection horizontale fig. 6; les parallèles 26-5, 27-6, marquent en projections verticale et horizontale la largeur de sa tête; leurs rencontres avec les arêtes CB , CD , déterminent la position de la ligne 5-6 qui limite l'épaisseur de la tête du poinçon du côté de la croupe. Quant à son épaisseur du côté du faitage du grand comble, on la fait égale à sa demi-largeur apparente sur la projection verticale, fig. 2. Ainsi on fait u -7, v -8, égaux à C u ou C v , et la ligne 7-8 complète le rectangle 5-6-7-8, qui est la projection horizontale de la tête du poinçon. Les lignes C -5, C -6, qui font partie des diagonales CB , CD , et les lignes C -7, C -8, sont les quatre arêtes de la pointe qui couronne le poinçon, et qui est représentée à part en projection horizontale, fig. 1.

Pour dévoyer en projection horizontale la ferme transversale projetée fig. 2, on porte sur une ligne perpendiculaire à AE , par exemple sur la face 5-8 du poinçon déjà tracée, et à partir de l'arête CD , l'épaisseur de la ferme de 5 en 17; on porte la même épaisseur de C en 17; on trace

la ligne 17-17', qui se trouve parallèle à l'arête CD , et par le point 14 où elle coupe l'arête $C-8$, on trace la ligne 14-15, qui est égale à l'épaisseur donnée de la ferme, et qui est partagée par la ligne AE dans le même rapport que la face 5-8 du poinçon. Les parallèles 9-10, 11-12 à la ligne AE , tracées par les points 14, 15, donnent la position des parements de la ferme transversale dévoyée, et le rectangle 13-14-15-16 est la projection horizontale du corps du poinçon marquée y sur les fig. 2 et 7 (1) qu'on met en projection verticale par des lignes parallèles à son axe OC .

La ferme de croupe est projetée horizontalement, fig. 6, par les lignes 22-28, 20-29, qui sont les prolongements des faces du corps du poinçon.

On peut dévoyer le même poinçon et la ferme d'une autre manière; les lignes CB , CD , fig. 11, pl. LV, représentant comme ci-dessus les projections horizontales des arêtes de la croupe; sur la ligne AE parallèle à la position que doit avoir la ferme transversale, on porte à droite et à gauche du point C les grandeurs Cu , Cv , égales à la moitié de l'équarrissage du poinçon qui, dans ce cas, doit être carré; par les points u , v , on trace des lignes parallèles à TCF ; leurs intersections avec les arêtes AB , CD donnent les points 5, 6, pour projections de deux des arêtes verticales de la tête du poinçon; on fait 6-7, 5-8, égales à uv ; les points 7, 8, sont les projections des deux autres arêtes verticales du même poinçon, de telle sorte que ce poinçon est projeté horizontalement suivant son carré d'équarrissement 5-6-7-8. Ses diagonales 5-7, 6-8, qui se croisent au point S , sont les projections des arêtes de la pyramide ou de la pointe de diamant qui s'élève aplomb au-dessus. La ligne ac est la trace horizontale du plan vertical qui passe par les axes des pièces de bois de la ferme transversale; elle est aussi la ligne de milieu de sa projection comprise entre les parallèles 9-10, 11-12. L'équarrissage 15-16-17-18 du corps du poinçon, après l'élévage, a une épaisseur égale à celle de la ferme. Cette méthode à l'avantage qu'on peut donner à la ferme transversale répondant au poinçon de croupe une épaisseur égale à celle de toutes les autres fermes transversales du comble, ce qui n'est cependant pas absolument nécessaire, vu que la ferme de croupe contribue au soutien du poinçon, et que cette

(1) Pour rendre le poinçon moins pesant on élégit son corps y , en lui donnant un équarrissage plus faible que celui de sa tête, qui a besoin de force pour recevoir les mortaises et embrèvements des pièces qui s'y assemblent. Les poinçons des fermes qui ne répondent point aux croupes ou aux noues, n'ont pas leurs têtes renforcées, et elles s'élèvent rarement au-dessus des toits; ils sont comme celui représenté fig. 2, pl. XLIV.

première ferme transversale n'a pas autant de surface de toit à supporter que les autres.

Les arêtes verticales de la tête du poinçon, du côté de la croupe, se trouvent par construction dans les plans verticaux passant par les arêtiers; mais celles du corps du poinçon correspondant ne peuvent s'y trouver, puisque l'élévation est faite également sur les quatre pans. Il en résulte que la loi des homologues ne peut plus être satisfaite complètement pour les assemblages des contre-fiches et autres pièces qui, dans quelques systèmes de fermes, doivent s'assembler en même temps dans le poinçon et dans les arêtiers, et que les arêtes des pointes qui couvrent le poinçon ne se trouvent point dans les plans verticaux des arêtiers. Nous avons donné de préférence dans notre épure, pl. XLVIII, la construction qui satisfait à toutes les conditions des formes homologues de la croupe et des longs pans.

Nous ne nous arrêterons point sur le tracé des assemblages des pièces a , considérées comme arbalétriers de la ferme transversale avec le tirant t , ni sur les assemblages de l'arbalétrier de croupe o avec le tirant d , dans lequel il se confond en projection horizontale, parce que ces assemblages à tenons, mortaises et embrèvement, qu'il est néanmoins indispensable de marquer sur l'épure comme nous l'avons fait, ne présentent aucune difficulté, et que déjà nous en avons décrit de semblables, page 265. Ils sont ponctués aux profils, fig. 2 et 7.

Les occupations des arbalétriers a , o , sur les tirants t , d , sont marquées en projection horizontale par des lignes ponctuées; elles sont bordées intérieurement de hachures aussi ponctuées, et les mortaises sont remplies de hachures parallèles à leurs joues, également ponctuées, parce que les arbalétriers ne sont point enlevés, et que leurs assemblages sont censés vus au travers du bois comme s'il était transparent. Les hachures en gros points marquent les fonds des mortaises, et celles en points plus petits marquent leurs parties rampantes.

La construction de l'épure étant parvenue à ce point, il s'agit d'établir les fermes des arêtiers et de tracer leurs propres pièces et celles qui s'y assemblent.

L'arbalétrier, le chevron, le coyer et toutes les pièces qui entrent dans la composition d'une ferme d'arétier doivent être dévoyées, c'est-à-dire que le plan vertical qui contient leurs axes ne doit pas coïncider avec le plan vertical qui contient l'arête de croupe à laquelle la ferme arétière correspond, et cette ferme se trouve ainsi dévoyée tout entière. On a pour but

en dévoyant une ferme arêtière de remplir deux conditions essentielles dans les assemblages des arbalétriers et chevrons d'arêtiers avec les coyers qui font office de tirants et d'entraîts : 1° l'économie du bois; 2° le bon aspect des assemblages. Ces deux conditions sont satisfaites lorsque l'épaisseur de la pièce arêtière, arbalétrier ou chevron, étant donnée, la ligne du joint de gorge $m n$, fig. 6, de son assemblage avec le coyer est perpendiculaire à la projection horizontale $C D$ de l'arête de croupe, et qu'elle est exactement comprise dans l'angle $B D E$ que font les parois. Ce résultat est obtenu fort aisément sur l'épure. Au point D , élevez une perpendiculaire $D y$ à la ligne $C D$. Sur cette ligne, portez $D q$ égale à l'épaisseur que doit avoir la pièce arêtière; par le point q , tracez la ligne $q z$ parallèle à $B D$, par le point m , où elle coupe la ligne $D E$; menez $m n$ parallèle à $D y$. Cette ligne $m n$ est égale à l'épaisseur $D q$ donnée; comme $D q$, elle est perpendiculaire à la ligne $C D$, et elle est comprise dans l'angle $B D E$. Par les points m et n , on trace les lignes 18-19, 20-21, parallèlement à la projection $C D$ de l'arête. Ces deux lignes marquent l'épaisseur de l'arêtière.

Pour se dispenser d'élever une perpendiculaire, et de tracer deux parallèles, quelques charpentiers préfèrent user d'un moyen de tâtonnement représenté fig. 4. $b d c$ étant l'angle droit que font les murs, $d c$ la projection horizontale de l'arête, ils placent contre cette arête la plus longue des deux branches d'une équerre, et contre l'autre branche une jauge ou une petite règle sur laquelle ils ont marqué deux points m et n , dont l'écartement est égal à l'épaisseur de la pièce qu'il s'agit de dévoyer, puis ils font mouvoir ensemble l'équerre le long de la ligne $c d$, et la jauge le long de l'équerre, jusqu'à ce que les marques m, n coïncident avec les lignes $b d, d c$. Lorsque la coïncidence est jugée satisfaisante, ils marquent les points m, n , sur les lignes $b d, d c$, et par ces points ils tracent les lignes $m m', n n'$ qui donnent la position de la pièce dévoyée. Cette opération, exacte dans son principe, ne donne pas toujours un résultat qui le soit autant, puisqu'elle dépend de l'adresse à manier la jauge et l'équerre, et elle exige le même temps au moins que la première.

Voici une méthode qui est plus expéditive que les deux précédentes, qui est rigoureusement aussi exacte que la première, et qui est surtout très-commode sur l'ételon ou épure en grand, vu qu'elle n'exige que l'usage du compas et qu'elle dispense de celui de l'équerre. Soient, fig. 3, comme précédemment, l'angle droit $b d c$ celui des deux murs, et la ligne $d c$ la projection horizontale de l'arête; ayant pris avec le compas la moitié

de l'épaisseur que doit avoir la pièce qu'il s'agit de dévoyer, on porte cette demi-épaisseur de d en z , du point z comme centre et avec cette même demi-épaisseur on décrit un cercle $d x y e$, ou l'on trace seulement les sections x et y ; puis, plaçant la pointe du compas en d , on porte $d v$ de d en m , et $d v$ de d en n . Par les points m et n on trace les lignes $m m'$, $n n'$, qui marquent la position de l'arêtier dévoyé; on démontre que la ligne $m n$, comprise dans l'angle $b d e$, est égale à l'épaisseur donnée de l'arêtier et perpendiculaire à la ligne $d e$ (1). Cette méthode, extrêmement commode pour l'angle droit, s'applique également bien aux angles aigus et obtus, ainsi que nous le ferons voir plus loin en expliquant les épures des croupes biaisées.

Lorsque le coyer n'est pas de la même largeur que l'arbalétrier, on le dévoie par les mêmes procédés, afin que sa situation soit homologue. Nous avons supposé, dans notre épure, qu'ils sont l'un et l'autre de la même largeur. Dans la partie à gauche de la projection horizontale, l'arbalétrier d'arêtier est supposé enlevé pour laisser voir le coyer r et le gousset p , dans lequel ce coyer est assemblé. L'assemblage des coyers dans le tirant t affaiblirait trop ce dernier, dans lequel des mortaises sont déjà creusées pour recevoir les assemblages du poinçon q et du demi-tirant d de croupe. Les goussets p diminuent la longueur des coyers et maintiennent la position du tirant d ; leur distance au centre du poinçon est à peu près arbitraire; elle dépend presque toujours de la longueur des bois qu'on veut employer pour les coyers. Quant à leur position, elle est fixée par la loi des homologues, parallèlement aux diagonales $A' k$, $E' k$, des rectangles $C A' \text{ : } k$, $C E' \text{ : } k$, dont la réunion forme le plan de la croupe. Si ces rectangles étaient des carrés, le coyer serait dans chacun sur une diagonale, le gousset serait parallèle à l'autre diagonale; la même relation est conservée. Les goussets sont assemblés à tenons et mortaises

(1) L'angle $b d e$ étant droit, la ligne $e z x$ est un diamètre du cercle $d x y e$; les triangles rectangles $v d x$, $m d n$, sont égaux par construction; leurs hypoténuses $v x$, $m n$, sont égales. La ligne $m n$ coupe en t la ligne $e d$. Le triangle $v z d$ est isocèle, ses angles $z v d$, $z d v$, sont égaux. Dans l'angle droit du triangle $v d x$, l'angle $x d v$ est le complément de l'angle $z d x$. Les angles $z v d$, $t m d$, sont égaux comme homologues de deux triangles égaux; l'angle $t m d$ est donc aussi complément de l'angle $z d m$; ainsi le triangle $d t m$ est rectangle en t , la ligne $m n$ est perpendiculaire à la ligne d'arête $e d$ et égale à l'épaisseur donnée $v x$, ou $d y$.

dans le tirant t et le demi-tirant d . Les tirants t , d , les goussots p , et les coyers r , forment une *enrayure* qui se reproduit dans une charpente, à chaque étage, où l'on place un entrait dans les fermes transversales. Les assemblages des pièces qui composent une *enrayure* sont ordinairement comme ceux des bois d'un plancher à embrèvement, et les tenons portent des renforts que nous n'avons point marqués pour ne point compliquer le dessin. Ces assemblages simples sont tracés dans la projection verticale, fig. 2, le demi-tirant d et les goussots sont supposés enlevés, afin de montrer les mortaises creusées au milieu des occupations sur le tirant t , pour recevoir les tenons de ces pièces. Les hachures les plus noires marquent les fonds des mortaises sur la projection verticale, les hachures pâles indiquent leurs pentes; les occupations sont seulement ponctuées et bordées de hachures, vu que les pièces ne sont point assemblées; les tenons sont ponctués sur la projection horizontale.

Pour former sur les chevrons d'arçniers les arêtes auxquelles ils correspondent, il faut les délarder des deux côtés et en dessus, suivant les deux plans qui sont, l'un dans la surface d'un toit de long pan, l'autre dans la surface du toit de croupe. Ces deux délardements ont pour traces horizontales, sur la face supérieure des coyers, les lignes 1-3, 3-4, pour un des chevrons, et les lignes 3-4, 4-2, pour l'autre. Ces lignes sont les abouts dont nous avons déjà parlé. Les traces verticales des mêmes plans de délardement sur les faces verticales de la tête du poinçon sont dans le plan horizontal qui forme les abouts d'embrèvement projetés verticalement sur les lignes 5-6, fig. 2, et 6-7, fig. 7.

Ces mêmes chevrons d'arçniers sont creusés par dessous, suivant des plans parallèles aux surfaces des toits de long pan et de croupe, pour former les arêtes creusées répondant aux encoignures intérieures du bâtiment, les traces horizontales de ces deux plans sur les coyers sont, pour un des arçniers, les lignes $A B$, $B D$, et pour l'autre, les lignes $B D$, $D E$. Les lignes 6-7, 5-6, 5-8, de la projection horizontale, et 7-6', 6'-5, 5'-8 des projections verticales sont les traces de ces plans sur les faces du poinçon.

L'occupation de chaque arçnier sur le coyer correspondant est circonscrite par le polygone $m B n w 3 u$ pour celui à gauche, et par le polygone $m D n w 4 u$ pour celui à droite; l'un et l'autre sont bordés intérieurement de petites hachures. L'assemblage est fait à tenon, mortaise et embrèvement; sur la gauche, l'arçnier que nous avons supposé enlevé laisse voir sur le coyer son occupation avec la mortaise et l'embrèvement qui en occupent le milieu. La mortaise est remplie de hachures parallèles à

ses joues; les plus noires marquent le fond, les autres répondent à la pente. La pente de l'embrèvement et celle de la mortaise ne commencent qu'à la ligne $m' m'$ passant par le point B , lorsque l'arêtier est recréusé en dessous, parce que, si elles commencent plus intérieurement, le bois de l'arbalétrier manquerait, notamment pour le tenon. On ne les fait commencer à la ligne $m m$ que lorsque le dessous de l'arêtier n'est pas recréusé, ce qui arrive quelquefois lorsque les charpentiers ont voulu économiser le travail.

L'about de la mortaise et celui de l'entaille d'embrèvement contre lesquels doivent s'appuyer les abouts du tenon et l'embrèvement de l'arêtier se placent sur la ligne $n n$ pour leur conserver la même simplicité de forme que dans les autres assemblages, et le reste de l'about de l'arêtier pose à plat sur son occupation, suivant les triangles $m B n'$, $n B n'$, du côté de la gorge de l'assemblage, et $n B n$ du côté de ses abouts. Sur la droite, l'assemblage sur le cover est ponctué, vu que l'arêtier n'est point enlevé.

Le plus ordinairement, les arbalétriers d'arêtiers ne s'assemblent point dans les poinçons, que leurs mortaises affaibliraient sans utilité, vu que le poinçon se trouve suffisamment soutenu par les arbalétriers de la ferme transversale des longs pans et de la ferme de croupe.

Les arbalétriers d'arêtiers ne sont qu'embrévés dans la tête du poinçon, et pour qu'ils puissent atteindre jusqu'aux embrèvements, ils sont d'abord *déjointés*, ainsi que les arbalétriers des deux fermes entre lesquels ils se trouvent, par des plans verticaux de *déjointement*, qui ont pour trace et projections horizontales, fig. 6, les lignes 20-30, 18-31, tendant au point C , centre du poinçon, pour l'arbalétrier répondant à l'arête projetée horizontalement sur $C B$. L'arête résultant de la rencontre des embrèvements taillés sur les deux faces du poinçon, est projetée horizontalement en 15-5, et verticalement, fig. 2, en 15-5. Cette arête est reçue, après le déjointement des deux faces verticales de l'arbalétrier d'arêtier, dans une entaille faite sur son about en *engueulement*. Cet *engueulement* est figuré en projection horizontale et sur l'about d'embrèvement, par l'angle 30-15-31, de sorte que cet about d'embrèvement par engueulement est en forme de chevron compris entre les deux angles droits 30-15-31 et 30-5-31, répondant à l'angle 5 du poinçon. L'occupation de la face d'engueulement répondant à 30'-30-15-5 de la projection horizontale, est projetée verticalement sur l'entaille d'embrèvement du poinçon, fig. 2, par le trapèze 15-30-30'6; l'occupation de l'autre face d'embrèvement

répondant à 31'-30'-15-5 de la projection horizontale, serait également sur l'entaille d'embrèvement du poinçon projeté fig. 7 un trapèze 16-31-31'-6', dont la ligne 31-31' est ponctuée, parce qu'elle se trouve du côté de la face du poinçon qui n'est point apparente. Ces trapèzes sont obtenus sur les projections verticales, fig. 2 et 7, en renvoyant les points de la projection horizontale de l'enguelement sur les lignes d'about et de gorge 6-5, 6'-5' de la fig. 2, 6-7, 6'-7' de la fig. 7 par des verticales.

Le déjoutement de l'arbalétrier de droite de la ferme de long pan projeté au plan fig. 6 sur la ligne 31-18 se trouve projeté verticalement fig. 2 sur cet arbalétrier suivant l'espace 5-15-5'-18'-18 haché de fines hachures, parce que le fil du bois est coupé par le déjoutement. La ligne 5-15 est l'about d'embrèvement. Sur la droite de la figure, une projection de l'arbalétrier *a* sur le plan du toit, est rabattue en *a'*, après l'avoir un peu reculée pour qu'elle soit plus distincte (1); l'épaisseur de l'arbalétrier est prise sur la projection horizontale, et pour marquer le plan de déjoutement sur cette projection, les points 18, 18' de la projection *a* sont rapportés sur la ligne 18-12, qui est la projection de la face apparente du chevron *a* par des lignes perpendiculaires 18-18, 18'-18'; et les points 31', 31, 5, sont aussi rapportés par des perpendiculaires 15-31, 5-31', 5'-5', sur lesquelles on porte, à partir de la ligne *C'E*, des distances prises des points correspondants à la ligne *C'E* sur le plan.

Souvent ce déjoutement ne laisse à l'arbalétrier *a* qu'un about d'embrèvement très-étroit, à côté de son tenon, comme cela arrive ici : cet about étant réduit à la surface du long et étroit quadrilatère compris entre les points 31, 5', marqués sur la projection *a'*, ne présente pas une surface d'application suffisante; on donne alors au déjoutement une autre forme; on fait un déjoutement par entaille, qui est tracé sur la gauche du plan par les lignes 32-33, 33-34, quoique l'arbalétrier soit enlevé.

Ce déjoutement par entaille est aussi tracé au plan fig. 1; l'entaille est marquée fig. 2 par le parallélogramme 32-33-33'-32', relevé de la projection horizontale; ce parallélogramme est rempli par des hachures,

(1) Dans quelques ouvrages, les projections faites sur les plans des toits ou sur des plans qui leur sont parallèles, sont nommées *herse*. Nous n'adoptons pas cette dénomination parce que la *herse* n'est pas un moyen d'épure, mais bien un procédé d'exécution, dont nous parlerons à l'occasion de l'exécution des charpentes des combles.

parce que le fil du bois y est coupé; le fond de l'entaille 16-6-33-33'-6' n'a point de hachures, parce qu'il est parallèle à la face du chevron. Nous verrons tout à l'heure la projection verticale de l'occupation de son embrèvement et de son about, sur la fig. 7, où nous avons déjà rapporté l'arbalétrier *o* de la ferme de groupe, le tirant *d* et le poinçon *g*. Nous avons marqué sur ce tirant l'occupation d'un gousset *p* que nous supposons enlevé, et la mortaise qui doit recevoir son tenon : cette mortaise est relevée du plan par des verticales.

Le tracé du *déjoutement*, sur la face verticale et apparente de l'arbalétrier *o*, fig. 7, est marqué par la verticale 22-22' relevée du point 22 du plan; le *déjoutement* occupe l'espace 22-6-16'-6'-22' rempli par des hachures; le profil de l'about d'embrèvement de l'arbalétrier est projeté sur la ligne 6-16. Sur la face du poinçon, qui est apparente, nous avons marqué la mortaise d'assemblage de l'arbalétrier de long pan. Sur la droite et contiguë à l'arête d'embrèvement 16-6', se trouve l'occupation 16-34-34'-6' de l'embrèvement par engueulement de l'arbalétrier d'arçier, qui répondrait à la ligne *CB* du plan fig. 6, si nous ne l'avions pas supposé enlevé, et qui se voit en *h'* fig. 1. Cette occupation s'obtient en faisant 16-34 de la projection verticale, fig. 7, égale à la ligne marquée des mêmes nombres sur le plan, et la ligne 34-34' se trouve projetée parallèlement à la mortaise.

L'arbalétrier *o* est projeté en *o'* sur le plan du toit, ou en *horse*, comme disent quelques praticiens. La projection du tenon de son assemblage sur le demi-tirant *d* s'obtient en donnant à ce tenon le tiers de l'épaisseur du bois; la ligne de gorge, la longueur du tenon, celle de son about et de l'embrèvement sont renvoyées de la projection *o* par des perpendiculaires. À l'égard du tenon de son assemblage à embrèvement avec le poinçon, on l'obtient de même par des perpendiculaires de renvoi à des lignes qui marquent l'épaisseur du tenon au tiers de celle du bois; et pour les *déjoutements*, il suffit de porter sur ces perpendiculaires et à partir de la ligne *C'F'*, les distances des points 22, 6, 16, 6', 22', qu'on veut marquer, à la ligne *CF* du plan. Les *déjoutements* sont symétriques des deux côtés des lignes *C'F'* ou *CF*; on voit entre eux et le tenon, sur la projection *o'*, les deux petites faces d'application de l'embrèvement formant les épaulements du tenon.

Les deux tenons des arbalétriers *a, a*, de la ferme transversale, se joignent dans la mortaise qui traverse de part en part le poinçon; le tenon de l'arbalétrier de croupe vient s'appliquer sur leurs joues qui tiennent

lieu du fond de sa mortaise. Il en est de même du tenon du faitage f , qui vient aussi s'appuyer contre eux de l'autre côté, de sorte que le poinçon est percé dans deux sens par les mortaises, ce qui motive la forte dimension conservée à sa tête.

La ferme d'arêtier de droite est projetée, fig. 5, sur un plan vertical parallèle à celui qui a pour trace la projection horizontale CD de l'arête de croupe. Cette projection est rabattue sur le plan de l'épure, et reportée au même niveau que celle de la fig. 2, afin que les hauteurs, qui sont les mêmes dans les deux fermes, se correspondent. La ligne OC est l'axe du poinçon, dont les arêtes sont relevées de la projection horizontale, fig. 6, ses hauteurs sont prises sur la projection verticale, fig. 2. Ainsi, les lignes OC , OG , de l'une des deux figures, sont égales aux lignes OC , OG , de l'autre; les lignes $O4$, OD , sont égales aux grandeurs $C4$, CD de la projection horizontale; les lignes $C4$, GD qui sont les projections de l'arête saillante et de l'arête creuse de l'arbalétrier, sont parallèles, par suite de la construction et des propriétés des homologues. Les triangles $CO4$, $GO4$, se trouvent construits sur la petite échelle au $\frac{1}{30}$.

L'assemblage à tenon et mortaise avec embrèvement et application à plat de l'arbalétrier sur le coyer r est ponctué; il est déduit des projections fig. 2 et 6, par des lignes horizontales et verticales. Pour le mettre en complète évidence, nous avons tracé à part, fig. 9, le pied de l'arbalétrier, verticalement au-dessus de la fig. 5; les parties $u4$, $w4$ sont les projections des plans d'application sur le coyer, elles répondent aux triangles $u4m$, $w4u$ de la projection horizontale, fig. 6. $w4w'$ est l'about d'embrèvement dont le rampant a pour trace la ligne Dw' sur les deux faces verticales de l'arbalétrier. Lorsque l'arbalétrier d'arêtier n'est pas creusé en dessous, ce qui arrive quelquefois par suite d'une économie de travail, le rampant de l'embrèvement et la mortaise du coyer, comme le tenon de l'arbalétrier, commencent à la ligne $u4$.

Nous avons supprimé dans la fig. 5 les projections des tirants t , d , et le gousset p , pour ne point compliquer inutilement la figure, qui ne doit avoir pour objet que les assemblages de l'arbalétrier d'arêtier avec le poinçon et le coyer, dont le bout, qui se termine à l'angle du bâtiment par deux plans verticaux, montre l'un de ces deux plans en $e-21-21'$.

Le déjoutement sur la face apparente de l'arbalétrier d'arêtier dans la fig. 5, répondant à la ligne 20-30 de la projection horizontale, est relevé par une verticale 20-20' dont la position se détermine par sa distance aux traces de repère MM , fig. 5 et 6, d'un plan vertical perpendiculaire au plan,

vertical aussi, qui contient l'arête CD de croupe (1). Ainsi la position du point 30 est déterminée sur la projection verticale en portant la distance $30-x$, prise au plan, de x en 30.

Le déjoutement est figuré par l'espace haché 20-30-30-30'-20'. On détermine de même le *déjoutement* de l'autre face répondant sur le plan à la ligne 31-18; il se trouve figuré verticalement par des lignes ponctuées et bordées de hachures suivant 18-31-31-31'-18.

Quant à l'*engueulement* dans lequel l'arbalétrier reçoit l'arête 5-15 du poinçon formée par les deux entailles d'embranchement, ses deux faces sont déterminées par les arêtes du *déjoutement* et figurées horizontalement par les espaces 5-15-30-30' sur la face du poinçon répondant à la croupe et 5-15-31-31' sur la face répondant au long pan, et verticalement par les espaces 5'-15-30-30' et 5'-15-31-31' répondant aux mêmes faces.

Nous avons figuré sur les rampants des embrèvements taillés sur le poinçon, les mortaises des arbalétriers a et a' ; les projections de ces mortaises sont remplies par des hachures; les plus fortes marquent les parties rampantes, les autres marquent les parois apparentes de leurs joues. Les directions de ces hachures sont parallèles aux pentes des mortaises et par conséquent au fil du bois des pièces dont elles doivent recevoir les tenons; elles sont par conséquent parallèles aux lignes GF , GA' , qui sont les projections des lignes de milieu des faces inférieures des arbalétriers de croupe et de long pan projetées verticalement sur les lignes GF , fig. 7, et GA , fig. 2, et horizontalement sur les lignes CF et CA , fig. 6; les distances OF , OA' , fig. 5, sont égales aux distances CF , CA' , obtenues en abaissant, des points F et A fig. 6, des perpendiculaires FF' , AA' , sur la ligne DC prolongée.

L'*engueulement* de l'arbalétrier de la gauche sur l'arête d'embranchement 16-6' du poinçon occupe les espaces compris entre cette arête et la ligne ponctuée 32-32' sur la face répondant à la croupe et entre la

(1) Ces traces de repères ont en apparence quelque rapport avec les traits *ramenerets*; il ne faut cependant pas les confondre avec eux. Les traits *ramenerets* servent de repères pour mettre en place sur les *ételons* les pièces qui sont communes à plusieurs pans; les traces M d'un plan de repère servent sur les épures à rapporter des dimensions d'une projection sur une autre; elles ne s'emploient que pour des projections à l'égard desquelles il n'y a point de second plan vertical de projection qui les rencontre à l'angle droit. J'aurais pu prendre pour trace du plan de repère sur le plan horizontal, une ligne parallèle à MM passant par le point C , la trace verticale de ce repère aurait été la projection CO de l'axe du poinçon; j'ai préféré, pour plus de généralité, prendre une ligne quelconque MM peu écartée des points à rapporter.

même arête 16-6' et la ligne 34-34' sur la face répondant au long pan.

Au-dessus de la fig. 5 l'arbalétrier *b* est projeté en *b'* sur un plan parallèle à ses arêtes, et perpendiculaire au plan de projection de cette figure. Cette projection est du même genre que celle que nous avons déjà faite des arbalétriers de la ferme transversale et de la ferme de croupe sur les plans des toits correspondants. Elle est faite enfin sur le plan parallèle à l'une des deux faces rampantes de l'arbalétrier, avant qu'il soit délardé en dessus ou creusé en dessous. Les détails du tenon, de ses épaulements en embrèvement et des plans d'application sur le coyer sont rapportés par des perpendiculaires, telles que *DD*, 4-4, *nn*, sur lesquelles on porte les distances des points à construire à la ligne *CD'*, projections de l'arête prises sur le plan par rapport à la ligne *CD*.

Il en est de même de la projection des *déjoutements* et de l'*engueulement*, qui sont représentés par la projection *b'*, par les espaces 20-30'-30'-30'-20, 18-31'-31'-31'-18' pour les premiers, et par ceux 15-30'-30'-5', 15-31'-31'-5' pour l'*engueulement*; l'about de l'embrèvement est compris dans l'espace en forme de chevrons 5-30'-30'-15-31'-31'.

Lorsque, par économie, on ne creuse pas l'arbalétrier en dessous, les deux faces de l'*engueulement* sont prolongées jusqu'à la face plane du dessous de l'arbalétrier qui est conservé. Quelquefois on conserve du bois pour former une partie d'*engueulement* vertical sur l'arête verticale du poinçon, et même des lèvres aux *déjoutements* pour les raccorder avec les faces inférieures des arbalétriers de long pan et de croupe; mais il en résulte une complication d'assemblage qui détruit l'économie de travail qu'on a voulu faire, et qui ne contribue en rien à la solidité. C'est pourquoi nous n'en donnons point de détails.

Pour connaître la véritable figure qui doit résulter du délardement de l'arêtier, il faut construire sa coupe par un plan perpendiculaire à sa longueur.

Le plan qui coupe l'arête perpendiculairement a sa trace horizontale sur la face supérieure du cours des sablières. Soit *MPN*, fig. 6, cette trace portant la distance 4*P* sur la ligne horizontale 4*O* de la fig. 5, de 4 en *P* et traçant la ligne *PR* perpendiculaire, elle est sur le plan de projection de la ferme d'arêtier la trace du plan de coupe perpendiculaire aux arêtes de l'arêtier. Rabattant ce plan sur le plan horizontal en le faisant tourner autour de sa trace horizontale *MN*, le point *R* de l'arêtier, fig. 5, vient s'appliquer sur la ligne *CD* en *R*, fig. 6, et comme, dans ce mouvement, les intersections de ce plan avec les deux toits n'ont pas cessé de passer par les points *M* et *N* où sa trace horizontale coupe celles des toits. Les lignes *MR*, *NR*, donnent l'angle que font le long pan et le pan de croupe en

formant l'arête par leur rencontre; cet angle est aussi celui que doit présenter l'arête de l'arbalétrier d'arêtier.

Pour que l'épure ne cesse pas d'être claire, nous transportons la ligne MN parallèlement à elle-même en $M'N'$, fig. 8; le point R vient en R' ; les triangles $M R N$, $M' R' N'$ sont égaux.

Sur la ligne $M'N'$ on fait $M'm''$ égal à Mm' et $N'n''$ égal à Nn' par les points m'' et n'' , on trace des lignes parallèles aux lignes $M'R'$, $N'R'$, elles sont dans la coupe les traces des plans intérieurs des deux toits, et traçant les lignes 1-2, 3-4, fig. 8, dans les prolongements des faces de l'arêtier, fig. 6, le polygone 1-6- R' -7-4-5 est la coupe de l'arbalétrier, perpendiculairement à ses arêtes, après qu'il a été délardé suivant les triangles $R'-2-6$, $R'-3-7$, en dessus pour former l'arête saillante, et creusé en dessous, suivant le triangle 1-4-5, pour former son arête creusée intérieure. Le rectangle 1-2-3-4 est la figure d'équarrissage de la pièce qui doit former l'arbalétrier. Il est aisé de reconnaître qu'en dévoyant l'arêtier, dont l'épaisseur 2-3 était donnée, on a obtenu pour la seconde dimension de son équarrissage 1-2 ou 3-4, fig. 8, un minimum de volume. Car si la même épaisseur 2-3 était placée en 2'-3', par exemple, le rectangle d'équarrissage 1'-2'-3'-4' qui en résulterait, serait toujours plus grand que le premier rectangle 1-2-3-4, qui est la coupe droite de l'arêtier dévoyé.

Les pièces a , v , b , h' , que nous avons jusqu'ici considérées comme des arbalétriers, seront maintenant des chevrons, à cause de l'étude que nous avons à faire des assemblages des empanons qui doivent s'assembler dans les chevrons d'arêtier, et nous ferons remarquer que les arbalétriers de la ferme transversale et de la ferme de croupe s'assemblent à tenons avec *embrèvement* dans le poinçon, parce qu'ils ont à soutenir ce poinçon; mais que les chevrons correspondant dans les mêmes fermes au-dessus de ces arbalétriers, n'ayant point à soutenir le poinçon, s'y assemblent simplement à tenons sans embrèvement; on leur donne un tenon au lieu de les appuyer à plat-joint, pour les maintenir exactement et qu'ils contribuent aussi au maintien des chevrons d'arêtiers qui sont appuyés sur les arêtes du poinçon par de simples engueulements aussi sans embrèvement. Par le bas, ces chevrons sont assemblés à tenons dans les tirants et coyers ou dans les blochets, ou bien ils posent, comme tous les autres, par des embrèvements, dans les sablières lorsqu'elles passent en dessus des tirants.

La distribution des chevrons se fait sur les longs pans en leur donnant, comme nous l'avons déjà dit, des écartements égaux et proportionnés aux longueurs des lattes et planches et aux poids qu'ils doivent supporter. Les

empanons qui forment la continuation des longs pans jusqu'aux arêtiers ont le même équarrissage et les mêmes écartements. Mais les empanons de croupe ont leur équarrissage et leur écartement déduits de ceux des chevrons et empanons des longs pans, toujours pour satisfaire à la loi des homologues.

Soit i en projection horizontale, un empanon de long pan; ses faces verticales sont projetées sur les lignes 41-45, 42-48, dont les prolongements rencontrent en j et j' l'arête CD . Ces deux points déterminent en même temps la position et l'épaisseur de l'empanon de croupe m , ses faces verticales ont pour projections les lignes N -55, 52-58, dont les prolongements passent par les mêmes points j , j' . Il résulte de cette disposition qui satisfait, comme nous avons dit à la loi des homologues, que les chevrons d'arêtier ne peuvent pas serpenter, vu qu'ils donnent appui de deux côtés également aux empanons qui tendent deux à deux, de l'un et l'autre pan, aux mêmes points et qui se font équilibrer.

On fait souvent, par économie, les empanons de croupe avec des bois de même équarrissage que les chevrons de long pan; dans ce cas, on se contente de faire concourir les lignes de milieu de ces empanons aux mêmes points que les lignes de milieu des empanons des longs pans correspondants; on économise ainsi un peu de bois, mais l'uniformité n'est plus satisfaite.

Les empanons sont assemblés à tenons et mortaises dans les chevrons d'arêtier, mais sans embrèvements, non pas qu'ils y seraient absolument inutiles, mais parce que cela augmenterait le travail, et l'on considère que la résistance des embrèvements est suppléée par le nombre des assemblages. D'ailleurs, ces assemblages n'ont pour objet que de fixer les places des empanons sur les faces verticales des arêtiers; souvent on les applique à plat-joint et on les attache avec des clous ou des broches; mais il résulte de cette économie de travail que la construction du toit manque de solidité.

Les tenons des empanons et les mortaises creusées dans les chevrons arêtiers pour les recevoir ont les joues et les rampants de gorge parallèles aux faces des empanons; la longueur des tenons est terminée au plan vertical qui contient l'axe du chevron d'arêtier; les abouts des tenons sont coupés par des plans verticaux perpendiculaires aux faces verticales des arêtiers; les épaisseurs des tenons sont, comme de coutume, égales au tiers de l'épaisseur des empanons ou de l'épaisseur du pan du comble. Ils sont projetés horizontalement en 45-46-47-48 pour l'empanon de long pan, et en 55-56-57-58 pour celui de la croupe; ils sont tracés comme ils le seraient sur des pièces horizontales.

L'empanon i est mis en projection verticale, fig. 2, par des verticales

qui renvoient ses points sur l'épaisseur du chevron α ; pour le rendre plus apparent; nous l'avons figuré par devant ce chevron, quoiqu'il soit réellement par derrière. L'empanon α est mis aussi en projection verticale, fig. 7, sur le chevron α , qui fait partie de la même croupe, par des lignes de renvoi de la projection horizontale; les mêmes nombres marquent les points de l'assemblage de l'empanon α qui se correspondent sur les deux projections. A l'égard des assemblages des empanons sur les sablières, ils y sont reçus, comme les chevrons, par des *pas* en embrèvements, dans lesquels on les fixe chacun par un clou.

Les *pas* des empanons sont marqués sur la projection horizontale par les rectangles 41-42-43-44, N-52-53-54, remplis par des hachures ponctuées, vu qu'ils sont cachés par les empanons; ils sont marqués en projections verticales, fig. 2, par le triangle E-2-2' et, fig. 7, par le triangle F k K.

A côté de la projection du chevron α' , fig. 7, nous avons fait sur le même plan une projection de l'empanon en α' . Sa largeur, sur cette projection, est égale à celle qu'il a sur la projection horizontale; les différents points qui marquent les coupes des assemblages sur cette projection sont construits en les renvoyant par des perpendiculaires sur les arêtes et sur des parallèles par des distances prises à la projection horizontale, fig. 6. Les projections des mêmes points sont marquées des mêmes nombres sur la projection horizontale de l'empanon α , fig. 6, et sur ses deux projections α , α' , fig. 7.

Les différentes faces du tenon dans lesquelles les fibres du bois sont coupées sont marquées par des hachures, pleines ou ponctuées, suivant qu'elles sont apparentes ou cachées. Le bout de l'empanon qui doit s'embrancher dans la sablière présente sa sole ou dessous de son embrèvement 52-53-54-N, qui est haché; la largeur de son about d'embrèvement est marquée par la ligne ponctuée 52'-N'.

Le même empanon α est mis en projection en lignes ponctuées, fig. 5, afin de laisser voir son occupation et la mortaise de son tenon qui en occupe le milieu sur le chevron d'arêtier, en le supposant enlevé. On l'obtient en relevant les points de la projection horizontale par des lignes verticales. Ainsi, ayant abaissé du point N, fig. 6, une perpendiculaire sur C D, la distance CP est portée de O en P, fig. 5; la distance du point 55 à la ligne M M est la même dans la fig. 5 que dans la fig. 6, et la ligne 55-P est la projection de l'une de ses arêtes; elle est parallèle à la ligne G P"; on détermine de la même manière les projections de ses autres arêtes. Le parallélogramme 55-58-58'-55' est son occupation; la projection de l'entrée de la mortaise

qui en occupe le tiers, est remplie de hachures parallèles aux arêtes de l'empanon : les plus noires marquent le rampant, les plus pâles marquent la joue qui est vue. Le parallélogramme 56-57-57'-56' est l'extrémité du tenon ; son about est projeté sur la ligne 56-55', vu qu'il est perpendiculaire à la face verticale de l'arétier.

Nous avons supposé que, dans le mouvement de rotation qu'on a fait faire au chevron d'arétier pour le mettre en projection en h' , il a entraîné avec lui ce même empanon α dans la position α' . Les différents points de cette projection sont obtenus au moyen de perpendiculaires aux arêtes du chevron et de distances prises au plan ; ainsi le point N' est sur le prolongement de la ligne PR , et la distance $R N'$ est égale à la ligne $P N$ prise au plan, fig. 6 ; la position de la ligne $4-N'$, qui est la projection de la ligne d'about sur les sablières, se trouve déterminée par celle du point N' ; la ligne de gorge $D-54$ lui est parallèle ; les points 52, 53, 54 sont déterminés sur $4-N'$, et $D-54$, par des lignes 52-52, 53-53, 54-54 parallèles à $P N$.

Les points p' et 52', qui marquent l'about d'embrèvement, s'obtiennent en traçant, par le point w'' de l'about de l'arbalétrier h' , une parallèle à la ligne $4-N'$, et par les points p et q de la projection de l'embrèvement d'empanon, fig. 5, des parallèles $p p'$, $q-52'$ à la ligne $P N$. On a de cette manière la projection de la sole de l'embrèvement d'empanon dans le parallélogramme $p'-52'-53-54$, et son about d'embrèvement est projeté par le parallélogramme $p'-N'-52-52'$.

Les empanons i , α se trouvent compris entre les lignes 6- M , 4- m' , fig. 8, qui sont les traces des deux plans du toit de long pan, et les lignes 7- N' , 4- n'' qui sont les traces des deux plans du toit de croupe. Les unes et les autres marquant dans cette coupe les épaisseurs véritables des chevrons et empanons, nous avons ponctué, dans celle du chevron arétier, les deux tenons de ces empanons.

§ 2. Croupe biaisée sur ferme biaisée et empanons délardés.

Les planches XLIX et L contiennent des épures de croupes biaisées comme celles comprises dans le rectangle 5-6-7-8 de la fig. 8, pl. LXIV ; elles présentent trois cas pour la disposition des fermes.

La fig. 4, pl. LXIX, est le plan d'une croupe biaisée pour le cas où la ferme transversale, au lieu d'être perpendiculaire aux murs latéraux du bâtiment, se trouve parallèle au mur de croupe, comme nous l'avons déjà expliqué au sujet de la fig. 8, pl. XLV, chap. XIII, 10°. Cette croupe peut

être considérée, tant pour la disposition des murs que pour le détail des formes de toutes les pièces de bois, les arêtiers exceptés, comme le résultat d'un mouvement qu'on aurait fait faire à la croupe droite de la fig. 6, pl. XLVIII, par lequel le point B' , pl. XLIX, serait venu en B la ligne DE seule n'ayant point changé de position; tous les autres points et lignes s'étant mus parallèlement à cette ligne DE et de quantités proportionnelles à leurs distances à cette même ligne, de telle sorte que les parallélogrammes rectangles $ABDE$, $CFDE$, $A'-3-4-E'$ de la fig. 6, pl. XLVIII, sont devenus des parallélogrammes désignés par les mêmes lettres, fig. 4, pl. XLIX, la ligne DE étant restée fixe.

Le mouvement s'est fait sous un angle $B'DB$ de 25 degrés, ou plutôt la position de la ligne DB est déterminée en portant $2^{\circ},80$ de B' en B ; les dimensions parallèles à DE et à DB , en changeant de place, sont restées les mêmes. C'est ainsi que la ferme transversale établie sur AE a, dans le sens du mouvement, la même épaisseur 9-11 que dans la fig. 6, pl. XLVIII; les faces 6-7, 5-8 du poinçon, parallèles à CK , n'ont point changé de grandeur, et elles sont comprises dans les mêmes plans verticaux, c'est-à-dire que leurs distances à la ligne CK n'ont point changé.

La fig. 3, pl. XLIX, est la projection verticale d'une ferme transversale égale à celle fig. 2, pl. XLVIII; elle est placée ici comme si elle appartenait au grand comble au-delà de la croupe; elle n'est pas dessinée entièrement pour ne point porter la confusion dans la fig. 4. Nous n'en avons représenté que ce qui est strictement nécessaire pour servir de modèle à la ferme transversale biaisée établie au plan fig. 4, pl. XLIX, sur la ligne AE , et qui est projetée fig. 5 sur un plan vertical parallèle à ses faces de parement, et rabattu sur l'épure après avoir un peu écarté la ligne AE de sa projection horizontale. Les hauteurs OC , OG , marquées sur le poinçon, sont les mêmes que celles OC , OG , de la fig. 3; et les points A , E , aussi bien que l'axe OC du poinçon sont relevés de la projection horizontale par des perpendiculaires; le poinçon de la ferme biaisée et cette ferme elle-même sont dévoyés sur la même projection horizontale pour les mêmes motifs et par les mêmes moyens que nous avons indiqués; le poinçon mis en projection horizontale est renvoyé sur la projection verticale, fig. 5, par des perpendiculaires; toutes les pièces de la ferme biaisée et leurs assemblages sont projetés par le même moyen; les hauteurs des points au-dessus de la ligne AE sont prises dans la fig. 3; les lignes de la fig. 5 qui croisent celles de la fig. 3 sont ponctuées comme si elles passaient en dessous de cette figure, afin de rendre le dessin moins confus.

Les goussets p , dans le plan fig. 4, n'ont pas cessé d'être parallèles aux diagonales AF , FE , et leurs faces verticales passent par les mêmes points des lignes CA , CF , CE , qui ont suivi le mouvement qu'on a fait faire à la croupe. La loi des homologues a été suivie en tout point dans la détermination des positions et dimensions des pièces de bois qui entrent dans la composition de la croupe, excepté à l'égard des chevrons et autres pièces des fermes d'arêtières, qui sont bien demeurés sur les arêtes CB , CD après le mouvement, mais qui n'ont point participé à l'obliquité qui en est résultée pour les autres pièces, à cause de la nécessité de les dévoyer, pour les mêmes motifs que nous avons exposés précédemment.

La méthode suivie pour dévoyer les arêtières d'une croupe biaise sur l'épure est la même que celle que nous avons indiquée la première. Sur la ligne $k-g$, perpendiculaire à CD , on porte $k-g$ égal à l'épaisseur que doit avoir le chevron d'arêtier par le point g ; on trace une parallèle à la ligne d'about 3-4, et par le point u où elle coupe la ligne d'about 4- E' , on trace la ligne $w-u$, qui, comme précédemment, est perpendiculaire à CD , et égale à l'épaisseur donnée $k-g$.

La seconde méthode pour dévoyer l'arêtier au moyen d'arcs de cercle est, comme nous l'avons dit, applicable au cas de la croupe biaise. Soit fig. 9, l'angle $e d b$ égal à l'angle EDB de la croupe biaise, soit aussi $e d b'$, égal à l'angle droit EDB' du point z comme centre avec le rayon $d z$ égal à la moitié de l'épaisseur qu'on veut donner à l'arêtier; on marque les points v , x , ayant fait $d m'$ égal à $d v$, $d n'$ et $e p$ égaux à $d x$, et tracé la ligne $n' p$ qui coupe en n la ligne de croupe $d b$; on fait $m m'$ égal à $n n'$; la ligne $n m$ est égale à l'épaisseur donnée, et perpendiculaire à $e d$, car elle est égale et parallèle à $n' m'$ déterminée comme si la croupe était droite suivant l'angle $e d b'$ ayant la même ligne $d c$ pour projection de son arête.

La figure 6 est une projection verticale de la ferme de croupe sur un plan parallèle à ses faces de parement et rabattu sur le plan de l'épure, après l'avoir reculé assez loin pour que le poinçon puisse trouver place et que ses faces de parement répondant aux lignes 5-8, 8-7 soient apparentes. Nous n'y avons marqué, en lignes pleines, que le chevron de croupe et le tirant b , pour laisser voir dans son entier l'assemblage de ce chevron dans le poinçon qui est représenté en lignes ponctuées pour indiquer sa place dans cette projection, dont tous les points sont construits au moyen de verticales tracées par les points correspondants de la projection horizontale, fig. 4, et de hauteurs prises sur la fig. 3. C'est ainsi que le

point F est construit, fig. 6, sur la ligne OK , qui est au niveau de la face supérieure du demi-tirant par l'intersection de cette ligne avec la ligne FF parallèle à la ligne CC , sur laquelle se trouve l'axe du poinçon fig. 6. Les hauteurs OG , OC ont été faites égales à celles marquées des mêmes lettres sur l'axe du poinçon, fig. 3. Tous les points de l'assemblage du chevron o sur le tirant sont construits de la même manière. Ainsi les quatre points 28, 29, 29', 28' de l'occupation sur le tirant, fig. 4, sont renvoyés par des parallèles à FF sur la ligne OK de la fig. 6, et sont cotés des mêmes chiffres. Les lignes tracées par ces points et parallèles à la ligne FG , sont les projections des arêtes du chevron o . Toutes les parties de son assemblage et de son déjoutement sont aussi relevées du plan par des verticales parallèles à CO , qui rencontrent les projections des arêtes du chevron, ou sur lesquelles on porte, à partir de l'horizontale OF , des hauteurs prises sur la fig. 3.

La fig. 7 est la projection verticale du chevron d'arêtier sur un plan vertical parallèle à celui qui contient l'arête. Ce plan vertical est rabattu sur l'épure et amené dans la position où la ligne horizontale OD , qui est la projection de la face supérieure du coyer, est sur le prolongement de la ligne OE de la fig. 2.

Les écartements $O4$, OD des pieds de l'arête saillante et de l'arête creuse du chevron d'arêtier sont pris au plan, fig. 4, et les hauteurs OC , OG sur la fig. 2. Les lignes $C4$, GD , qui marquent le rampant de l'arêtier, sont parallèles, et les arêtes de la pièce de bois qui forme le chevron d'arêtier sont parallèles aussi à ces lignes, et passent par les points u et w relevés de la projection horizontale. Le poinçon est relevé de la projection horizontale, et ses hauteurs sont prises sur la fig. 2. Les chevrons d'arêtiers, ou simplement *arêtiers* s'assemblent entre les chevrons de croupe et des longs pans par des déjoutements; ils s'appuient sur le poinçon par engueulement; les déjoutements et engueulements de celui o sont marqués sur la projection, fig. 7, et hachés en différents sens pour qu'on puisse les distinguer lorsqu'ils sont contigus: les assemblages des chevrons des fermes dans les poinçons et dans les tirants sont à tenons et mortaises, sans embrèvements. Il serait cependant prudent, quelque faibles que fussent les efforts qu'ils auraient à supporter, de leur en faire, comme aux arbalétriers, pour les croupes biaises.

Les fig. 9 et 10 sont des coupes dans l'arêtier de droite par des plans perpendiculaires à ses arêtes, comme celle de la fig. 8, pl. XLVIII. Elles sont déduites de la projection verticale de l'arêtier, fig. 7, et de sa projection

horizontale, fig. 4. Leurs largeurs, rapportées à la ligne cd , sont prises sur le plan et égales à celles de l'arêtier par rapport à la ligne CD ; leurs épaisseurs, par rapport à la ligne mn , sont prises, fig. 7, sur une perpendiculaire quelconque xy aux arêtes. La fig. 9 est pour le cas où le chevron est délardé en dessus et creusé en dessous, la fig. 10 pour celui où il n'est que délardé en dessus.

Vu le biais de la croupe et que la ferme de croupe est dans le prolongement de la ferme longitudinale du comble, le chevron o , qui répond à la ferme de croupe, n'est point en bois carré; il est délardé suivant la position qu'ont entre elles ses deux faces verticales et les deux faces qui sont dans les plans du toit. Pour connaître la véritable forme de cette pièce, il faut en construire une coupe perpendiculaire à ses arêtes; la fig. 11 est cette coupe rabattue sur le plan de l'épure. Par le point $28'$ de la fig. 6 on a abaissé une perpendiculaire $28'-28''$ sur les arêtes du chevron o . Cette perpendiculaire est la trace verticale d'un plan perpendiculaire au plan de projection et aux faces du chevron, et conséquemment à ses arêtes.

Ce plan a pour trace horizontale la ligne xy passant par le même point $28'$, fig. 4. Elle est perpendiculaire aux projections des arêtes du chevron. On a retiré cette trace en $x'y'$ pour que le rabattement du plan coupant sur l'épure ne se confonde pas avec l'occupation du chevron sur le tirant. Dans le rabattement, les intersections du plan coupant avec les faces verticales du chevron ne quittent point ces faces et s'appliquent sur leurs traces; à partir de la ligne $x'y'$, on a donc $z-1$, $z-2$, $4-3$ égaux à $28'-1$, $28'-2$, $28'-3$, de la fig. 6, le point 4 se trouve sur la trace même du plan coupant et le parallélogramme $1-2-3-4$ est la coupe du chevron perpendiculaire à ses arêtes. Cette coupe est nécessaire pour connaître quel équarrissage doit avoir la pièce de bois qu'on délardera pour former le chevron o . L'épure fait voir que cette pièce peut avoir l'équarrissage $4-z-2-v$ ou l'équarrissage $4-u-2-t$; on choisit celui qui donne le moindre cube de bois si on emploie des pièces de bois déjà débitées, ou celui qui donne le moindre déchet s'il faut débiter le chevron dans une grosse pièce.

À côté des chevrons a et o , fig. 5 et 6, nous avons projeté en a' et o' les mêmes chevrons parallèlement sur deux plans parallèles aux pans des toits auxquels ils appartiennent, et de façon à mettre en évidence leurs faces de l'intérieur du comble, pour que les coupes de leurs assemblages soient plus faciles à étudier.

Ce que nous allons expliquer au sujet du chevron a s'applique au chevron o .

Les arêtes du chevron dans la projection a' sont parallèles à celles proje-

tées en a , fig. 5. Pour les établir dans cette projection, il faut construire les projections de l'about sur le tirant, qui est au plan fig. 4, le parallélogramme 10-11-13-12, et dont les angles sont projetés sur les points des mêmes numéros de la ligne $O U$, fig. 5. La ligne $C U$ de la même figure est la projection verticale et la véritable grandeur de la ligne projetée horizontalement en $C E'$, fig. 4, et sur laquelle la ferme transversale biaise est établie; les angles de l'about qu'il s'agit de tracer sur la projection a' doivent se trouver sur les perpendiculaires à la ligne $C U$ tracées fig. 5 par les points 10, 11, 12, 13, puisque la projection a' est faite sur un plan parallèle à la ligne $C U$, ou, ce qui est la même chose, cette projection représente le chevron a de la figure 4, après que, l'ayant écarté parallèlement sans lui imprimer aucun mouvement dans le sens de sa longueur, on lui a donné quartier pour mettre en dessus sa face précédemment tournée vers l'intérieur du comble. Ayant établi la ligne $C' U'$ parallèle et égale à $C U$; la ligne $U' R'$ d'about du chevron doit passer par le point U' , dans lequel la ligne $C' U'$ est rencontrée par la perpendiculaire $U' U'$. Pour tracer par le point U' cette ligne $U' R'$, il faut construire, à l'aide des fig. 3 et 4, l'angle $R' U' C'$ que fait la ligne $R' U'$ avec la ligne $C' U'$.

Si l'on fait tourner le plan du toit de long pan autour de la ligne d'about $R-4$, fig. 4, la ligne $R C$ lui étant perpendiculaire, le point C viendra s'appliquer en S . Ce point S s'obtient en faisant $R S$, fig. 4, égale à $R C$, fig. 3, et la ligne $U S$ est égale à la ligne $C U$ de la fig. 5. On aurait pu également déterminer le point S en décrivant le point E' , fig. 4, comme centre, un petit arc de cercle avec un rayon égal à la ligne $U C$ ou à la ligne $U' C$ de la fig. 4. Le triangle rectangle $S R E'$, fig. 4, est la véritable figure du triangle projeté horizontalement sur celui $C R E'$, et son angle $S E R$ est celui que les arêtes du chevron a font avec la ligne d'about $E' 4$. Construisant donc sur la ligne $C' U'$ de la projection a' , fig. 5, un triangle $C' U' R'$ égal au triangle $S E' R$, fig. 4, mais en sens inverse, puisqu'il s'agit de représenter la face inférieure des chevrons, l'angle $C' U' R'$ sera égal aussi à celui que font les arêtes du chevron avec la ligne d'about. Ainsi les points 11', 13' des angles de la projection cherchée de l'about sont aux intersections de la ligne $R' U'$ et des perpendiculaires abaissées des points 11 et 13, fig. 5, sur la ligne $C' U'$. Dans le mouvement qu'on a fait faire au pan du grand comble pour coucher le triangle $C E' R$ sur l'épure en $S E' R$, fig. 4, la ligne de gorge $E D$ est venue se projeter sur la ligne $s r$ parallèle à $E' R$, sa distance à $E' R$ s'obtient en abaissant du point E , fig. 3, une perpendiculaire $E r$ sur $R C$, et en portant $R r$ de R en r , fig. 4, et de R en

r' , fig. 5, pour tracer $r' s'$ parallèle à $R' U'$. Cette ligne $r' s'$ est, sur la projection a' , la ligne de gorge de l'about du chevron, et les points 10', 12', sont déterminés par les perpendiculaires abaissées des points 10', 12' sur la ligne $C' U'$. Les points 11', 13' sur la ligne $R' U'$, et les points 10', 12' sur la ligne $r' s'$, peuvent être déterminés en prenant la distance des points 11, 13, 10, 12 à la ligne $C R$ du plan, fig. 4, pour les rapporter sur la projection a' à partir de la ligne $C' R'$. Ces deux moyens se servent mutuellement de vérification. Le tenon est mis en projection par des moyens analogues : chacun de ses points se trouve en même temps sur une perpendiculaire passant par sa projection, fig. 5, et sur une parallèle à la ligne $C' R'$ tracée à une distance donnée par celle de la projection horizontale de ce point à la ligne $C R$ de cette projection, fig. 4. Ainsi, par exemple, le point 15' du tenon se trouve sur la ligne 15-15' perpendiculaire à $C' U'$, passant par le point 15 de la projection verticale, fig. 5, relevé du point 15 de la projection horizontale, fig. 4, originairement déduit du même point de la fig. 3; et ce point 15' est à la distance $v'-15'$ de la ligne $C' R'$, mesuré de v en 15 perpendiculairement à la ligne $C R$ de la projection horizontale, fig. 4.

On doit remarquer que les lignes qui forment l'extrémité du tenon sont parallèles aux lignes de l'about du chevron a' ; que celles qui répondent à la gorge de l'assemblage sont parallèles aux arêtes du chevron, et enfin que celles qui marquent les deux côtés de son about sont perpendiculaires à la ligne d'about 11'-13', ce qui est une conséquence de ce qu'elles sont verticales et projetées dans deux points de la même ligne d'about 11-13 sur la projection horizontale.

On détermine par le même procédé la projection de l'about du chevron a' , de son tenon et de son déjoutement, pour son assemblage dans le poinçon qui est préalablement relevé sur la projection verticale, fig. 5, et déduit des projections, fig. 3 et 4.

C'est encore par les mêmes opérations que l'on détermine en o' , fig. 6, la projection du chevron o sur le plan du toit, en mettant en évidence celle de ses faces parallèles au toit qui est dans l'intérieur du comble. Mais comme on n'a point ici de projection, comme la fig. 3, qui donne pour la croupe le fil du comble, ou, ce qui est la même chose, l'angle que son toit fait avec l'horizon, il faut préalablement construire cet angle. En conséquence, ayant abaissé du centre C du poinçon, fig. 4, une perpendiculaire $C Q$ sur la ligne 3-4 de la croupe, porté de C en Z la hauteur $C O$ prise, fig. 6, et tracé l'hypoténuse $Q Z$, le triangle $Z Q C$ repré-

sente le profil de la croupe par un plan vertical suivant la ligne CQ , et rabattu sur l'épure en tournant autour de CQ . En portant maintenant de Q en Z' , sur la perpendiculaire CQ , l'hypothénuse OZ , la nouvelle hypothénuse KZ' est la véritable grandeur de la ligne projetée horizontalement sur CK , le triangle $Z'OK$ étant le rabattement sur l'épure du triangle qui est situé dans le plan du toit et qui a pour projection horizontale le triangle CQK . L'angle $3KZ'$ est celui que la ligne de milieu de la face supérieure du chevron de croupe fait avec la ligne d'about 3-4. Il sert à établir sur la projection o' , fig. 6, cette même ligne d'about. On trace la ligne $C'K'$ parallèle et égale à CK , et par conséquent à KZ , au moyen des deux perpendiculaires égales CC', KK' . Par le point K' on fait sur la ligne $C'K'$ l'angle $C'K'L$ égal à l'angle $3KZ'$ du plan, par le moyen de deux arcs de cercle égaux xy , ou en construisant en sens inverse le triangle rectangle $C'Q'K'$, dont les trois côtés sont égaux aux côtés du triangle ZQK de la fig. 4. Le reste de la construction pour la projection des tenons, abouts et déjoutements, est absolument le même que pour la projection o' de la fig. 5.

Les empanons ae, i , de la croupe o et du long pan suivent la loi des homologues; ils se sont distribués comme dans la croupe droite par la condition que les prolongements de leurs faces verticales se coupent sur la ligne GD de la projection horizontale, fig. 4, en j et j' . Ils participent aux biais de la croupe, et la forme de la croupe perpendiculaire aux arêtes de chacun se détermine par une opération semblable à celle par laquelle nous avons déterminé la forme 1-2-3-4, fig. 11, du débilardement du chevron de croupe o .

Pour ne point embrouiller la fig. 5, nous avons projeté l'empanon o à part, fig. 8, sur un plan vertical parallèle à ses faces verticales, et recouché à gauche sur l'épure, après l'avoir suffisamment écarté de la projection principale.

Les arêtes de cet empanon sont parallèles à celles du chevron o , fig. 6; elles passent par les points 51-52-53-54 de la projection horizontale, et renvoyées sur la ligne GM qui représente le niveau de la surface supérieure des sablières, par les perpendiculaires à cette ligne 51-51', 52-52', 53-53', 54-54'. L'about d'embrèvement est un rectangle vertical dont les côtés verticaux sont projetés horizontalement en 51 et 52, fig. 4, et suivant les verticales 51-51', 52-52', fig. 8, dont la longueur est égale à la quantité d'embrèvement déterminée. Le parallélogramme 51-51' 52-52' est la projection de l'about d'embrèvement dans la sablière. A l'égard de l'as-

semblage de l'empanon dans le chevron d'arêtier, la projection de son about et de son tenon s'obtient par des verticales 55-55', 58-58', qui rencontrent les projections des arêtes, et donnent, pour la figure de l'about de l'empanon, le parallélogramme 55-55'-58'-58', fig. 8. En portant la hauteur OC du comble prise fig. 3, de G , fig. 8, en H , et projetant le point 4 en M , la ligne MH est la projection de la ligne d'arêtier sur le plan de la fig. 8; les lignes 55-58, 55'-58', si l'on a bien opéré, sont parallèles à la ligne MH .

Le parallélogramme, qui forme sur la projection α l'extrémité du tenon, a ses côtés parallèles à ceux de l'about d'empanons 55-55'-58'-58. Ses angles sont sur la perpendiculaire tracée par les points de leurs projections horizontales, et les arêtes du tenon, qui marquent son épaisseur, aboutissent à la ligne de gorge 58-58' de l'assemblage, et la partagent en trois parties égales, puisque l'épaisseur des tenons doit être égale au tiers de celle de l'empanon.

A gauche de la projection fig. 8, l'empanon α est projeté en α' sur le plan du toit. Les opérations qui ont pour objet de mettre en projection son embrèvement dans la sablière et son assemblage dans l'arêtier, sont exactement les mêmes que celles que nous avons décrites au sujet de la projection α' , de la fig. 6. Les arêtes de l'empanon, dans la projection α' , sont parallèles à celles de la projection α , fig. 8, et à celles du chevron dans la fig. 6; les lignes d'about et de gorge de l'embrèvement sur la sablière sont également parallèles à celles construites fig. 6; leur longueur est égale à celle qu'elles ont sur la projection horizontale, fig. 4, et leurs rencontres avec les arêtes dans la projection α' sont sur des perpendiculaires aux arêtes de la projection α , et passent par les projections des mêmes points. La projection de l'assemblage de ce même empanon dans l'arêtier s'obtient aisément au moyen des perpendiculaires aux arêtes passant par les points de la projection α , fig. 8.

Nous avons marqué sur la projection du chevron d'arêtier h , fig. 7, l'occupation 55-55'-58'-58 de l'empanon α , et l'entrée de la mortaise. Nous avons aussi projeté en h' le chevron d'arêtier parallèlement à lui-même, après lui avoir donné quartier sur un plan perpendiculaire au plan vertical passant par l'arête du toit. Nous avons supposé que l'empanon lui est resté assemblé en α' , et le tout a été construit suivant les procédés que nous avons expliqués au sujet des projections des mêmes pièces de la croupe droite. pl. XLVIII et page 512.

Le biais des assemblages des chevrons α , α' n'a pas un grand inconvé-

nient, vu qu'il s'agit seulement de les maintenir à leurs places sur les faces du poinçon, et qu'ils n'ont point un grand effort à exercer sur les tirants; mais il n'en est pas de même du biais dans les assemblages des arbalétriers, qui ont à soutenir tout le poids des toits. Considérant pour un moment les pièces a , a' , comme des arbalétriers, il résulte d'abord du biais de leur position à l'égard des faces du poinçon, qu'ils tendent à glisser de côté et à tordre ce poinçon sur son axe vertical OC . Quoique la pièce a considérée aussi comme arbalétrier tende à agir en sens contraire, elle ne peut pas seule faire équilibre à l'effort des deux premières. Pour empêcher cette torsion, il faut établir dans les assemblages des embrèvements qui les convertissent en assemblages droits; autrement la torsion ferait éclater le poinçon ou rompre les tenons.

La fig. 6, pl. LV, est un assemblage de cette sorte. La projection horizontale présente deux arbalétriers a , a' , assemblés dans un poinçon g . Ces trois pièces sont délardées suivant le biais de la croupe; au-dessus de cette projection, l'un des arbalétriers, celui a' désassemblé, est en projection verticale. Le tenon est terminé dans la projection verticale par le plan qui a pour projection la ligne 6-5', et pour projection horizontale la ligne 5-6.

Deux embrèvements accompagnent le tenon et lui servent d'épaulements; ils ne sont pas dans le même plan; leurs emplacements sont déterminés par le biais de l'assemblage, leurs abouts et celui du tenon sont dans un même plan, projeté verticalement sur la ligne 6-1; l'about commun est vu, dans sa véritable grandeur, sur la projection horizontale en 4-2-3-10-5-6-7-8. Les deux plans d'application, des embrèvements entaillés dans le poinçon, sont projetés verticalement sur les lignes 3-2', 8-9, et horizontalement suivant les trapèzes 2-3-10-11, 9-7-8-12. Ils sont vus de face suivant les trapèzes 2'-3-5-11, 9'-6-8-12 dans la projection fig. 5, faite sur un plan vertical perpendiculaire aux deux plans de projections, de la fig. 6, et l'extrémité du tenon est figurée par le trapèze 5'-5-6-6'.

A l'égard de l'assemblage du même arbalétrier sur le tirant, l'inconvénient du biais est que tout l'effort est porté sur l'angle aigu de l'about, qui peut être trop faible pour résister, et avoir néanmoins assez de force pour faire éclater la mortaise. La fig. 7 de la même pl. LV présente, sur une projection horizontale du tirant t , l'indication de la mortaise avec deux entailles d'embrèvement et une projection verticale de l'arbalétrier délardé a , désassemblé pour faire voir le tenon et les deux embrèvements, qui ne sont point dans un même plan, mais bien dans deux plans parallèles.

Les hachures les plus noires marquent le fond de la mortaise, celle de moyenne intensité marquent sa partie rampante, et les plus pâles répondent aux *pas* des embrèvements qui sont rectangulaires. Des chiffres indiquent la correspondance des points des deux projections; l'about du tenon est projeté verticalement sur la ligne 9-9', celui de la mortaise qui doit le recevoir est projeté horizontalement sur la ligne 9-10. La face du tenon répondant à la gorge de l'assemblage est conservée dans la face inférieure biaise de l'arbalétrier, ce qui n'a aucun inconvénient; cette face n'ayant à éprouver aucun effort, les abouts d'embrèvement projetés horizontalement sur les lignes 7-8, 11-12 et verticalement sur 7-7', 11-11', sont perpendiculaires à la longueur du tirant et produisent le même effet que les abouts ordinaires. Les triangles 1-2-3, 4-5-6, 7 8-9, 9-10-11, 11-12-13, reçoivent l'application simple des parties planes de l'assemblage de l'arbalétrier.

§ 3. *Croupe biaise, sur ferme droite et empanons déversés.*

L'épure de la planche L a pour objet une croupe biaise pour le cas où la ferme transversale sur laquelle elle est appuyée est perpendiculaire à la ferme longitudinale, comme cela se pratique le plus ordinairement pour une croupe comprise dans le trapèze 17-18-19-20, fig. 8, pl. XLIV.

La fig. 6 est le plan de la croupe sur lequel les principales pièces de la charpente sont en projection horizontale; les lignes $A B$, $B D$, $D E$, sont, comme dans l'épure précédente, les traces des parois intérieures des murs. L'angle $B D E$ est de 78 degrés, ou la longueur de la ligne $B D$ étant de 6 mètres, la ligne $B E$ qui donne le biais est de 1^m,28. La fig. 5 est la projection verticale de la ferme transversale établie sur la ligne $A E$ du plan perpendiculairement à la ligne $C F$, sur laquelle est la ferme de croupe qui termine la ferme sous-faite ou longitudinale parallèle aux deux longues façades du bâtiment. Les arêtes de la croupe sont projetées horizontalement sur les lignes $C 3$, $C 4$, le point C étant le centre du poinçon. Nous considérons dans cette épure les pièces a et a' , comme des chevrons; celui a est délardé à cause du biais de la croupe. Le poinçon, la ferme transversale et les arêtiers sont dévoyés comme dans les épures précédentes. La fig. 7 est une projection de l'arêtier de droite sur un plan vertical parallèle à celui qui a pour trace la ligne $C 4$. Cette projection a été reculée jusqu'à la ligne $O 4$ pour qu'on pût la coucher sur le plan de

l'épure sans occasionner de confusion dans le dessin. Les détails des projections et des assemblages des chevrons, des poinçons, des tirants et des coyers, sont tracés par les procédés que nous avons décrits. Nous ne les répéterons point ici; nous ferons remarquer seulement que les tenons des assemblages des chevrons a , a dans le poinçon, sont portés vers le grand comble, afin d'augmenter pour chacun la largeur de la partie de son about comprise entre le tenon et le déjoutement.

Les emplacements des empanons de croupe sont, comme précédemment, déduits de ceux des empanons des longs pans, espacés comme les chevrons.

L'empanon de long pan i est droit, c'est-à-dire perpendiculaire à ses lignes d'about et de gorge, comme les chevrons de long pan et comme celui de la fig. 6, pl. XLVIII. L'empanon de croupe correspondant a devrait être délardé comme celui de la fig. 4, pl. XLIX, puisqu'il est aussi parallèle au chevron de croupe o ; mais les charpentiers dérogent parfois à la loi des homologues pour économiser le travail et le bois, lorsqu'il n'en résulte pas d'autre inconvénient qu'un léger défaut d'uniformité dans l'intérieur du comble. Ils ne délardent point les empanons desroupes biaises: ils les établissent suivant la direction qu'ils auraient s'ils étaient délardés, et pour maintenir leurs faces supérieures dans le plan du toit, ils les déversent. a , Fig. 6, pl. I, est l'empanon *déversé* dont il faut déterminer les projections, son pas à embrèvement sur les sablières et son assemblage dans le chevron d'arêtier. Soit $p r$ parallèle à $C K$, la projection de la ligne du milieu de la face supérieure de l'empanon déversé, comme serait la même ligne d'un empanon délardé. Si l'on fait passer par cette ligne un plan perpendiculaire au toit, ce plan est parallèle aux faces latérales de l'empanon déversé; sa trace sur le plan horizontal des sablières est parallèle aussi aux traces de ces mêmes faces qu'il s'agit de trouver. Par l'axe du poinçon projeté horizontalement sur le point C , on fait passer un premier plan vertical perpendiculaire au plan du toit de la croupe; en faisant tourner ce plan autour de sa trace horizontale $C Q$ perpendiculaire à la ligne d'about 3-4, pour le coucher sur l'épure, l'axe au poinçon s'applique sur $C Z$ perpendiculaire à $C Q$; la ligne $Q Z$ est dans le plan ainsi couché, le profil de la pente du toit. Supposant également par le point p un second plan vertical parallèle au premier, sa trace $p q$ est parallèle à $C Q$. La projection du point p sur le premier plan vertical est en P sur la ligne $Q Z$, puisque le point projeté en p est sur la surface du toit. Si l'on imagine par ce point p une perpendiculaire au plan du toit, cette

ligne est projetée sur le premier plan suivant $P S$; S est la projection du point S' où cette perpendiculaire perce le plan horizontal du dessus des sablières; par conséquent, le plan perpendiculaire au toit passant par la ligne du milieu $p r$ de l'empanon, a pour trace horizontale la ligne $r S'$.

Faisant maintenant tourner le plan du toit de croupe projeté horizontalement suivant $3-C-4$ autour de la ligne d'about $3-4$ qui est sa trace sur le plan horizontal, la ligne $Q Z$ s'applique sur sa projection horizontale $Q C$ prolongée, et le point projeté en C vient en Z . Le toit de croupe projeté suivant le rectangle $3-C-4$, se trouve couché sur le plan horizontal dans sa véritable grandeur $3-Z-4$. Le point projeté en p est venu en p , et la ligne $p' r$ est la ligne de milieu de l'empanon, dans la position qu'elle a sur le plan du toit $3-Z-4$. Par le point x pris sur la ligne $p r$ prolongée en dehors de la ligne d'about, on élève une perpendiculaire sur laquelle on porte $x z$, $x y$ égales chacune à la moitié de l'épaisseur du bois dont l'empanon doit être fait, par les points z et y ; on trace deux parallèles $z-51$, $y-52$, à la ligne $p r$; elles sont sur le plan du toit, les arêtes de l'empanon et les projections de ses faces latérales; la partie 51 , 52 de la ligne d'about comprise entre ces deux lignes est la ligne d'about de l'empanon, ce qui résulte du mouvement de rotation qu'on a fait faire au plan du toit de croupe dans lequel l'empanon a été entraîné sans que les arêtes aient cessé de passer par les points 51 , 52 . On trace par ces mêmes points, les lignes $51-54$, $52-53$ parallèles à la trace horizontale $r S'$ du plan perpendiculaire au toit; le quadrilatère $51-52-53-54$ est le pas de l'empanon déversé sur le plan des sablières, ses quatre arêtes parallèles sont projetées sur les lignes $51-51'$, $52-52'$, $53-53'$, $54-54'$, parallèles à $p r$. Pour mettre l'empanon déversé en projection verticale sur le plan d'arêtier, on renvoie les points 51 , 52 , 53 , 54 , sur l'horizontale $O D$ de la fig. 7 qui est la projection verticale de l'arêtier, et les points $51'$, $52'$, $53'$, $54'$, sur les projections verticales des arêtes correspondantes de l'arêtier. Les mêmes numéros indiquent les mêmes points et les mêmes lignes dans les deux projections.

L'occupation de l'empanon déversé sur la face verticale de l'arêtier est le parallélogramme $51'-52'-53'-54'$, au milieu duquel est la mortaise $1-2-3-4$. Les arêtes de la partie du tenon répondant à la gorge de l'assemblage passent par les points 3 , 4 , de la gorge de cette mortaise qui divisent la ligne $52'-53'$ de la projection horizontale et de la projection verticale en trois parties égales, et elles sont parallèles aux arêtes de l'empanon; elles se terminent en projection horizontale en 55 et 56 à la trace $u v$ du plan vertical qui

partage l'épaisseur du chevron d'arêtier en deux parties égales, pour que les tenons des empanons aient des deux côtés des chevrons d'arêtier la même longueur. Les deux points 55, 56 de la projection horizontale sont renvoyés en projection verticale, fig. 7, en 55 et 56; les lignes 55-57, 56-58, tracées par les points 55, 56, parallèles au côté 51'-52' de l'occupation marquent la longueur des tenons en projection verticale. Quant à l'about du tenon, vu qu'il est perpendiculaire à la face verticale de l'arêtier qui reçoit l'assemblage, et qu'il passe par la ligne 51'-54, il est projeté verticalement sur cette ligne. Pour avoir en projection horizontale ses arêtes formées de ses intersections avec les joues du tenon qui sont parallèles aux faces du dessus et du dessous de l'empanon, il faut construire en projection horizontale une ligne qui lui soit parallèle, par exemple, l'intersection de la face supérieure de l'empanon avec le plan de l'about. Ce plan de l'about du tenon qui a pour trace sur la face verticale de l'arêtier la ligne 51'-54 prolongée jusqu'en *H*, a pour trace horizontale la ligne *HJ* perpendiculaire à la ligne 20-*w*, trace ou projection de la face verticale de l'arêtier qui reçoit l'empanon. Les points *J* et 51' étant en même temps dans le plan de l'about et dans la face supérieure du chevron qui est le plan du toit, la ligne *J-51'* est la projection horizontale de leur intersection à laquelle les arêtes 1-58, 2-57 de l'about du tenon doivent être parallèles. Nous avons dit que les arêtes passaient par les points 1, 2 qui partagent la ligne d'about 51'-54 en trois parties égales; le parallélogramme 55-56-58-57 est la projection verticale de l'extrémité du tenon. La coïncidence des points 1, 2, 57, 58 de la projection horizontale avec les points de mêmes numéros de la projection verticale sur les lignes perpendiculaires à la ligne *OD*, est un moyen de vérification.

α, Fig. 8, est la projection de l'empanon déversé sur le plan du toit, que nous avons construit à part, soit l'angle *Q-4-Z'*, égal à l'angle marqué des mêmes lettres au plan, fig. 6; *Q-4* est la ligne d'about, *4-Z'* est l'arête de la croupe. Ayant abaissé du point *f*, fig. 6, où la ligne *CQ* coupe la ligne de gorge des assemblages *BD*, une perpendiculaire *fh* sur *QZ*, on porte *Qh* de *Q* en *h*, fig. 8, sur une perpendiculaire à la ligne *Q-4*. La ligne *hn*, tracée parallèlement à *Q-4*, est la projection sur le plan du toit de la ligne *BD* de la fig. 6. On fait *4-w* et *4-n'*, fig. 8, égales à *4-w* et à *4-n'* de la fig. 6. Par le point *n'*, on élève une perpendiculaire à *Q-4*. Sa rencontre détermine le point *n*, projection du même point de la fig. 6. Les lignes *w-20* et *n-20'*, fig. 8, parallèles à l'arête *4-Z'*, sont les projections des arêtes de la face verticale de l'arêtier. On prend *4-r* et *4-p'* sur

les côtés de l'angle $Q-4-Z$, fig. 8, égales aux mêmes lignes prises sur l'angle égal $Q-4-Z$ de la fig. 6, et la ligne $r p'$ est, comme dans cette figure, la ligne de milieu de l'empanon déversé. Ayant élevé dans l'un quelconque de ses points x une perpendiculaire $z y$, et fait $x z$ et $x y$, comme précédemment, égales à la moitié de l'épaisseur de l'empanon, les lignes $51-51'$, $52-52'$, parallèles à la ligne $r p'$, et passant par les points x et y , sont les projections des faces perpendiculaires de l'empanon. Le parallélogramme $51'-52'-53'-54'$ est sa portée ou son about sur la face verticale du chevron arêtier. Le parallélogramme $1-2-4-3$, qui occupe le tiers du milieu, est l'entrée de la mortaise ou la racine du tenon dont l'about se trace par les points $1, 2$, parallèlement à la ligne $51-J$; la distance du point J au point 4 étant prise sur la fig. 6. La position des points $57, 58$ sur les arêtes de l'about est déterminée par deux lignes parallèles à la ligne $4-Z$ dont les distances à cette ligne sont égales aux largeurs des projections de la mortaise et de ses joues sur la face verticale du chevron d'arêtier, ces mêmes lignes $56-58, 55-57$, marquent le bout du tenon. Son about est projeté par l'autre parallélogramme, $1-2-57-58$.

A droite de la fig. 8, le même chevron est projeté en α' sur un plan parallèle à ses faces perpendiculaires au plan du toit, comme si on lui avait donné quartier pour mettre en évidence sa face de droite $52-52'-53-53'$. Ses faces parallèles au toit sont projetées sur les deux parallèles $52-51', 53-54'$, dont l'écartement est égal à l'épaisseur $f h$ du toit prise sur la fig. 6. Les points qui déterminent les formes du tenon sont renvoyés de la projection α' par des perpendiculaires sur les arêtes où ils doivent se trouver; ils sont marqués des mêmes numéros. Il en est de même de l'assemblage avec la sablière, le pas simple est marqué sur les deux projections de la fig. 8 par les parallélogrammes $51-52-53-54$; l'embrèvement est tracé sur la projection α' par deux verticales $51-b, 52-d$, perpendiculaires aux lignes $51-54, 52-53$. Le parallélogramme $51-52-d-b$ est la projection de l'about d'embrèvement dans la sablière, et le parallélogramme $53-54-b-d$ est la sole de l'empanon qui doit poser sur le rampant de l'entaille ou pas d'embrèvement dans la sablière. Les points b, d de l'about sont renvoyés sur la première projection en d et b par des perpendiculaires. L'about de la sole est distingué par des hachures pleines, vu qu'il est apparent. La projection du pas de l'empanon est remplie de hachures ponctuées.

§ 4. *Croupe braise, empanons droits.*

La fig. 11 est un fragment de la projection horizontale de la même croupe braise, fig. 6, même planche, qui a pour objet de faire voir que, lorsqu'il n'y a pas nécessité d'établir la ferme de croupe dans la direction de la grande ferme longitudinale, on peut la placer perpendiculairement à la ligne BD , et les empanons, au lieu d'être délardés ou déversés, peuvent être droits et formés de bois carrés.

On pourrait enfin pour une croupe qui aurait beaucoup de biais, laisser la ferme de croupe dans le prolongement de la ferme longitudinale, et néanmoins établir les empanons perpendiculairement à la ligne d'about, afin de n'y employer que des bois carrés sans les déverser ni les délarder. C'est le cas représenté par le croquis, fig. 3, pl. LVIII, dans lequel les projections des axes des fermes sont marquées en grosses lignes, et celles des lignes de milieu des chevrons en lignes fines. Les chevrons de la croupe croisent la ferme de croupe cf ; on pourrait aussi, en établissant un chevron délardé sur la ferme de croupe, y assembler en empanons une partie des autres chevrons droits qu'il couperait. Nous profitons de ce croquis pour faire remarquer que, si le biais d'une croupe était tel que l'angle b tombât précisément sur l'axe de la ferme transversale eb , le chevron de cette ferme devrait, sans cesser d'en faire partie, être délardé de façon à présenter une face dans le long pan et une face dans la croupe pour former l'arête. Enfin, si le biais de la croupe prenait la position $d'b'$, il n'y aurait plus que des demi-fermes assemblées dans le poinçon en e , savoir une demi-ferme de long pan ee ; une demi-ferme de croupe cf ; et deux demi-fermes d'arêtières $e'b'$, cd .

§ 5. *Neue droite et empanon droit.*

La fig. 1 de la pl. LI est une projection horizontale du nœud des bâtiments de la fig. 8, pl. XLIV, compris dans le rectangle ponctué 9-10-11-12 et figuré dans son ensemble, fig. 1 et 2, pl. LXVI; les lignes DA , DB sont les traces horizontales des parois intérieures des murs qui forment l'angle rentrant de la jonction des bâtiments; elles sont aussi les lignes de gorge des assemblages des chevrons sur les sablières.

La fig. 2 est le profil commun aux deux bâtiments, pris perpendiculairement à leur longueur, et projeté sur un plan vertical passant par l'axe du

poinçon suivant la ligne OE du plan; elle présente une des fermes transversales des mêmes bâtiments. Les hauteurs OC , OG du comble sont égales à celles OC , OG des épures précédentes, et les pentes des toits $C4$, GE sont construites de la manière que nous avons décrites, p. 495. Les lignes d'about 4-3, 4-2, sur la projection horizontale, sont déduites de ce profil. t est le tirant; y est le poinçon; a , a sont les chevrons correspondants; le faitage f , coupé par le plan vertical de projection, est figuré par le pentagone $Cibde$.

Dans la projection horizontale, le poinçon, dont le centre est en O , est projeté suivant un carré 2-3-4-5 et sa tête est terminée en pointe de diamant; f , f , f , f sont les quatre faitages qui s'y assemblent sur ses quatre faces à tenons et à mortaises traversant le poinçon de part en part; les quatre tenons des faitages s'y joignent à onglets, ainsi qu'ils sont projetés au plan; les quatre noues h , h , h , h reçoivent chacune une arête verticale du poinçon à *engueulement*, comme eux des arêtriers; elles sont déjoutées des deux côtés également, ainsi que les faitages, pour qu'elles puissent atteindre le poinçon.

Les arbalétriers des fermes de noue, qui ne sont pas figurés dans les fig. 1 et 2 de la pl. LI, sont assemblés dans le poinçon à tenons et mortaises avec embrèvement, et la tête du poinçon doit avoir, à l'endroit des assemblages, un équarrissage assez fort pour que les embrèvements trouvent des surfaces d'application perpendiculaires aux directions des noues (1).

L'épaisseur du chevron de noue est partagée en deux parties égales dans la projection horizontale par la ligne de noue. Le pas de la noue sur le tirant au niveau du dessus des sablières, est figuré sur la projection horizontale, par le périmètre $nDmu4wn$, rempli par des hachures ponctuées.

La fig. 2 comprend une projection verticale de la noue, en supposant qu'on a fait tourner toute la ferme de noue autour de l'axe vertical CO du poinçon, jusqu'à ce que le plan vertical, passant par l'arête de noue, OD , se confonde avec le plan de projection verticale; la ligne OD' de cette projection est faite égale à OD de la projection horizontale, et la ligne $O-4'$ égale à la ligne $O-4$. Les lignes GD' , $C4'$ sont parallèles; la dernière est la projection vertical et suivant sa véritable grandeur de l'arête

(1) Nous ne donnons point ici de détails du poinçon de noue, parce que nous en parlons au sujet de l'ételon qui est l'objet de la fig. 1, planche LVI.

creuse de noue; l'autre est la projection de l'arête saillante, si le chevron a été délardé en dessous en même temps que l'arête du dessus a été fouillée; les autres arêtes du chevron de noue sont mises en projection verticale, en rapportant les points n , w du plan de la noue sur la ligne OD de la projection verticale.

L'arête du poinçon 5-5' de la projection verticale, fig. 2, dans le mouvement qu'on a fait faire à la ferme de noue, est venu s'appliquer sur le plan vertical en 6-6', à la distance $O-5$ de l'axe du poinçon.

La projection verticale des *déjoutements* est faite au moyen de la rencontre des projections des arêtes par les verticales 20-20', 21-21' passant par les points 20 et 21 de la projection horizontale; on les trace à la même distance de l'axe du poinçon que ces deux points sont de sa diagonale 2-4; les bords du *déjoutement* projetés sur les points 20 et 21 de la projection horizontale, sont verticalement sur les lignes 20-20', 21-21' déjà tracées; les lignes qui les terminent en dessus et en dessous sont tracées par la considération qu'étant l'une dans un des plans intérieurs du toit, l'autre dans le plan extérieur parallèle, et qu'elles passent par le point O de la projection horizontale, leurs prolongements, sur la projection verticale, doivent passer par les points C et G dans lesquels l'axe du poinçon est coupé par les mêmes plans des toits; ce qui donne les lignes 20-21, 20'-21'. Quant au tracé des *enquelements* sur la projection verticale de la noue, attendu que leurs bords supérieurs et leurs bords inférieurs passent par les points 22, 22', où l'arête saillante et l'arête creuse rencontrent l'arête du poinçon, les lignes 21-22, si l'on a opéré exactement, doivent passer par le point e , projection verticale des points r des faitages en projection horizontale, dans lesquels les lignes de faite rencontrent les faces du poinçon; vu que les points 5, 21, r , de l'un et de l'autre côté de la projection horizontale, sont dans le plan du toit auquel appartient l'une ou l'autre arête de faite.

A côté de la projection verticale du chevron de noue h se trouve une seconde projection h' de ce même chevron sur un plan parallèle à l'arête de noue et perpendiculaire au plan de la projection verticale; le chevron de noue est vu dans cette projection par dessous, comme si on lui avait donné quartier.

La largeur du chevron est prise sur la projection horizontale, et ses points sont renvoyés de la projection h par des perpendiculaires aux arêtes, projetées en h' ; les *déjoutements* sont tracés par les projections des points 2 et 20' sur des lignes qui concourent aux points C , G , projections des points

C et *G*. Ces lignes sont parallèles deux à deux, les points 21 et 21' étant mis en projection sur les lignes 21-21', et les points 22, 22' sur la projection *C' D'* de l'arête, les lignes 21-22 et les lignes 21'-22' marquent l'engueulement.

Par le point *z* de la ligne horizontale *C F*, qui est la projection verticale des arêtes de faitage, si l'on abaisse une perpendiculaire *z x* sur la ligne *C' D'* et qu'on prolonge jusqu'à cette ligne, celles d'engueulement 22-21, les lignes *x v* doivent être égales aux lignes *x v* de la projection horizontale; par la raison que les lignes 22-21 sont dans les plans des deux toits qui forment la noue.

Par le point *E* et le point *H* pris, sur la projection horizontale, dans le prolongement des lignes de gorge *A D*, *B D*, soit tracée la ligne *H E* qui se trouve perpendiculaire à la ligne de noue *O D*; soit fait dans la projection verticale de la noue, *O I'* égal à *O R* et du point *I'*, soit abaissée une perpendiculaire *I' I'* sur la ligne de noue *C K*. Cette ligne est la trace verticale d'un plan perpendiculaire au chevron de noue, et la ligne *E H* est sa trace horizontale. Si l'on fait tourner ce plan autour de cette trace, pour le coucher sur le plan horizontal, qu'on fasse *R p*, *R q* égales à *I' p'*, *I' q'* de la projection verticale, et qu'on trace par le point *p* les lignes *p H*, *p E*, et par le point *q* deux parallèles *q-1*, *q-4*, à ces deux lignes, elles seront les intersections du plan perpendiculaire au chevron de noue avec les plans du dessus et du dessous des deux toits, et la coupe du chevron sera l'hexagone 1-2-*p*-3-4-*q*, qui est rempli par des hachures pleines. Nous avons tracé cette coupe séparément, fig. 15, et indiqué par le rectangle 1-4-5-6 l'équarrissage de la pièce de bois qui doit former le chevron de noue. Par une opération analogue on trace sur la projection *h'* la sole du chevron de noue. On rapporte les points *D'* et *K* de la projection *h* en *D'* et *K'* sur l'arête de noue de la projection *h'* et l'on fait *K' H'*, *H' E'* égales à *R H*, *R E* de la projection horizontale. Les lignes *D' E'*, *D' H'* sont les projections des lignes *D E*, *D H* de la projection horizontale; leurs prolongements et les parallèles tracées par le point *K'*, donnent la forme de la sole *w n D' m u K'* du chevron de noue. Si l'on a exactement opéré, les lignes qui joignent les points *m*, *n* et les points *u*, *w* sur la projection *h'*, sont perpendiculaires à la ligne *C' D'*, comme sur le pas du chevron de noue dans la projection horizontale.

Nous avons projeté en *i*, sur le plan horizontal, un empanon qui s'appuie par le haut contre la face verticale du faitage, et qui s'assemble à tenon et mortaise dans le chevron de noue; son tenon est projeté en lignes ponc-

tuées. Cet empanon est projeté verticalement sur le chevron *a* de la fig. 2; son tenon est mis en projection verticale par les méthodes que nous avons expliquées au sujet des empanons de croupe; la mortaise qui doit le recevoir est mise en projection verticale sur le chevron de noue par les mêmes procédés; des hachures longitudinales en marquent le fond, des hachures biaises marquent sa joue visible et sa partie rampante; les hachures sont dirigées suivant le sens qu'aurait le fil du bois de l'empanon; elles sont parallèles à une de ses arêtes projetée horizontalement sur la ligne 54-55 et verticalement sur le plan de projection de la noue par la ligne 54'-55' déterminée par le point 55' de l'occupation de l'empanon et le point 54', qui est, sur la projection de la ligne horizontale des faitages, la projection verticale du point 54 de la projection horizontale, situé sur la même arête.

Un peu en-dessous et sur la gauche de la projection verticale de l'empanon, nous avons placé sa projection *z'* sur le plan du toit (1); il se présente, dans cette projection, comme si on lui avait donné quartier pour mettre en évidence la plus courte de ses deux faces verticales, celle qui est la moins éloignée du poinçon.

Nous ne donnerons point de détail sur la construction de cette projection, vu qu'elle est la même que celle que nous avons donnée, page 514, pour une projection semblable de l'empanon de la croupe droite de la pl. XLVIII.

La fig. 3 est une projection verticale du bout d'une pièce de faitage, assemblée dans le poinçon, qui n'est que ponctué, pour laisser à découvert le tenon. Nous avons tracé sur cette figure le déjoutement du faitage; il est rempli par des hachures. Le bout du tenon, qui est coupé d'onglet, est aussi couvert de hachures; les occupations des abouts du faitage, réduites de largeur par l'effet des déjoutements, sont marquées sur le poinçon, fig. 2, par des verticales 21-21'.

Lorsque, par l'effet de la distribution des chevrons, les premiers empanons ne peuvent pas trouver, près des assemblages des noues, l'espace nécessaire à leur entier enlèvement dans les sablières, indépendant de ceux des noues, on les tronque suivant les plans verticaux des noues contre lesquels ils doivent s'appuyer, comme on en voit deux *a*, *o*, fig. 9 pl. LIII.

(1) Cette projection croise celle du poinçon de la ferme, fig. 2; ce qui n'a point d'inconvénient, vu qu'il n'en résulte aucune confusion.

§ 6. *Neue braise, empanon délardé et empanon déversé.*

La pl. LII contient l'épure de la neue braise, comprise dans le quadrilatère 13-14-15-16, fig. 8 pl. XLIV, et représentée dans son ensemble, fig. 3 et 4, pl. XLVI.

Les neues entre toits égaux en largeur et en hauteur, quel que soit l'angle des bâtiments sur le plan, ne sont jamais dévoyées. Nous donnerons un exemple d'une neue dévoyée, au paragraphe 9 du présent chapitre.

Les explications que nous avons données sur l'épure de la pl. LI, s'appliquent à celle-ci, et suffisent pour en exécuter la construction. Nous nous bornerons donc aux indications les plus indispensables.

La fig. 1 est le plan du nœud du comble; les lignes QP, DB , qui sont le prolongement l'une de l'autre, sont les traces des parois intérieures de l'un des murs d'un bâtiment. Les lignes PN, DA sont les traces des deux murs parallèles de l'autre bâtiment, qui forme nœud avec le premier. Le poinçon O est délardé suivant le biais ou l'angle sous lequel les deux bâtiments se rencontrent; et, comme ces deux bâtiments sont égaux en largeur, la projection du poinçon est un losange: par la même raison, les chevrons de neue h, h, k, k , sont égaux deux à deux, c'est-à-dire ceux qui sont dans le même alignement; les plus grands h, h , répondent à l'angle aigu ADB , les plus courts k, k , à l'angle obtus QPN . Les quatre faitages ff s'assemblent dans le poinçon qui les soutient; leurs tenons se joignent encore à onglets au centre O ; les chevrons de neues, et les faitages, sont *déjointés*, et les arêtes verticales du poinçon sont reçues dans les encochements des abouts des neues qui ne font que s'y appuyer.

La fig. 2 est, comme dans la précédente épure, une coupe faite dans l'un des bâtiments par un plan vertical perpendiculaire aux murailles PN, DA , et sur laquelle une ferme transversale de ce bâtiment est projetée, elle sert de type pour tous les détails des fermes des neues. La fig. 3 est une projection de la ferme de neue de droite sur le plan vertical passant par l'arête creuse de la neue, qui a pour trace la projection horizontale de l'arête de neue $CD 4$, et qu'on a fait tourner autour de cette trace pour le coucher sur le plan de l'épure. La fig. 4 est la projection de l'autre ferme de neue d'arête de gauche sur un plan vertical ayant pour trace horizontale la ligne OP . Les plans de projection des neues ont été reculés parallèlement à eux-mêmes pour qu'en les couchant les constructions graphiques soient bien distinctes.

Dans l'une et l'autre figures 3 et 4, la tête du poinçon a été mise en projection par des verticales, répondant à ses angles sur la projection horizontale; les hauteurs OC , OG ont été prises dans la fig. 2, où elles sont égales à celles marquées sur les poinçons des épures précédentes. Sur la droite de la fig. 3, le chevron de noue est mis en projection en h' , sur un plan parallèle à ses arêtes, et perpendiculaire à celui de la projection h de cette figure; les *déjoutements* et *enguelements* sont déterminés par les mêmes opérations que sur les planches précédentes; les mêmes lettres et les mêmes numéros désignent les mêmes points. Nous avons marqué sur le plan, fig. 1 et dans la fig. 3, sur les projections h et h' , le tenon qui assemble le chevron dans le tirant de noue.

Nous avons marqué sur cette épure trois sortes d'empanons : l'empanon ϵ est droit et perpendiculaire à l'arête du faitage $O-f-57$, contre lequel il s'appuie, il s'assemble dans le chevron de noue. Cet empanon est de la même espèce que celui de la noue droite, pl. LI, il est projeté sur la fig. 2 avec son tenon, et la mortaise qui doit recevoir ce tenon est marquée sur le chevron de noue, fig. 3, par le parallélogramme 50-51-52-53 au milieu de l'occupation, qui est bordée de petites hachures. La construction est la même que celle décrite page 545. Pour marquer en lignes ponctuées, sur la projection h' la mortaise qui doit recevoir le tenon de l'empanon, les points 50, 51, 52, 53 de la projection h , fig. 3, sont renvoyés par des perpendiculaires sur la ligne qui est la projection de la face dans laquelle la mortaise est creusée, et par ces points on trace les lignes 50-50', 51-51' parallèles à la ligne 54-55, pour la partie rampante de la mortaise, et la ligne 52-52', 53-53' parallèles à 56-57 pour l'about. Les lignes 54-55, 56-57 sont, sur la projection h' , les projections des lignes du plan du toit, cotées des mêmes numéros sur la projection horizontale, elles sont déterminées en faisant 54-54 et 57-57 de la projection h' , égales aux mêmes lignes de la projection horizontale.

En α l'empanon est délardé; deux de ses faces sont verticales, il est du même genre que l'empanon délardé de croupe biaise, pl. XLIX; il n'en diffère que parce qu'au lieu de s'assembler par le haut dans un arêtier, c'est par le bas qu'il s'assemble dans une noue. Mais les procédés de constructions graphiques sont les mêmes que ceux décrits page 519. Cet empanon est en projection verticale avec son tenon, fig. 2, entre les lignes qui représentent l'épaisseur du toit; la mortaise dans laquelle il doit être assemblé est marquée, fig. 4, sur la face verticale de la noue.

Le troisième empanon est projeté horizontalement, fig. 1, en σ . Cet em-

panon est déversé, par les mêmes motifs que nous avons exposés p. 523, au sujet de l'empanon déversé de la croupe biaise, fig. 5, 6, 7, pl. L, et les procédés graphiques sont encore les mêmes que ceux que nous avons exposés même page, sinon que, pour construire en projection horizontale l'épaisseur de l'empanon, au lieu de faire tourner le plan du toit qui contient cette épaisseur autour de la ligne d'about sur la sablière de croupe, on le fait tourner autour de l'arête $q\ l$ du faitage contre laquelle s'appuie l'empanon, et qui lui sert d'about, pour le rendre horizontal. Ce mouvement du plan du toit permet de raisonner à son égard comme s'il était le plan de projection horizontale.

La ligne du milieu $r\ p$ de la face supérieure de l'empanon, est projetée horizontalement et tracée parallèlement au faite du bâtiment, dont la ligne $P\ Q$ représente un des murs. Du point p on abaisse une perpendiculaire $p\ q$ sur la ligne $q\ l$ du faitage; cette perpendiculaire est la projection horizontale et la trace du plan vertical dans lequel se meut le point p pendant qu'on fait tourner le plan du toit autour de l'horizontale $q\ l$. Les points p, q , sont projetés verticalement en p et s , et la ligne $p\ s$ est la véritable grandeur de la ligne projetée horizontalement en $p\ q$; portant sa grandeur de q en p' sur le plan horizontal, $r\ p'$ est la ligne de milieu de l'empanon, dont la face supérieure est dans le plan du toit, et lorsqu'il a la position horizontale dans laquelle nous l'avons supposé amené; par un point x de cette ligne prolongée, on lui élève une perpendiculaire sur laquelle on porte $x\ z$, et $x\ y$ égales à la demi-épaisseur de l'empanon; les parallèles $y\ v, z\ u$ sont les projections des faces de l'empanon, perpendiculaires au toit, toujours maintenu horizontal, et les points 51, 52 où elles coupent la ligne $q\ l$, sont ceux autour desquels les deux arêtes de la face supérieure de l'empanon ont tourné pour suivre le mouvement du toit; par conséquent, en traçant, par les points 51-52, deux parallèles 51-61 et 52-62 à la ligne $r\ p$, elles sont les projections horizontales de ces arêtes, dans le plan du toit revenu à sa place.

Considérant de nouveau le plan du toit, dans la situation horizontale qu'on lui a momentanément donnée, on trace la ligne $v\ u$ parallèle à $q\ l$ à une distance égale à $s\ r$, fig. 2, déterminée par la perpendiculaire abaissée du point t sur la pente du toit. Cette ligne $u\ v$, fig. 1, est sur le plan du toit, dans la position horizontale, la projection de l'arête inférieure de la face verticale du faitage, qui est aussi la ligne de gorge de la surface d'application des empanons et chevrons contre le faitage. Le parallélogramme 51-52- v - u est la figure de la surface d'application de l'empanon contre cette face

verticale du faîtage, projetée sur le plan du toit supposé horizontal. Abais-
sant des points u, v des perpendiculaires $u-53, v-54$ sur le faîtage, elles
représentent les plans dans lesquels les points u, v se meuvent lorsque le plan
du toit est ramené dans sa position naturelle; elles déterminent, sur la face
verticale du faîtage projetée sur la ligne $q l$, les points 52, 54 par lesquels
passent les projections horizontales 53-63, 54-64 des arêtes parallèles à la
ligne $v p$. Les points 61, 62, 63, 64 dans lesquels les arêtes de l'empan-
non rencontrent la face verticale de la noue projetée sur $a w$, renvoyés sur
les arêtes de sa face verticale apparente, fig. 3, donnent les quatre points
des angles du parallélogramme 61-62-63-64 qui marque l'occupation de
l'empanon déversé sur le chevron de noue. Pour vérifier la position des
côtés 61-64, 62-63 de cette occupation, on construit directement la trace
d'une des faces latérales de l'empanon sur la face verticale de la noue;
l'arête 52-62 de la projection horizontale, fig. 1, est prolongée jusqu'à
la rencontre v de la ligne d'about parallèle à $P N$ prolongée; le point v ,
est dans le plan d'une des faces de l'empanon perpendiculaire au toit, la
ligne $v' q$ prolongée est la projection d'une perpendiculaire au plan du toit,
dans le point 62; cette perpendiculaire, qui est dans la même face laté-
rale de l'empanon, est projetée verticalement sur la fig. 2, suivant la ligne
62- v' , elle perce le plan horizontal dans le point v'' ; ainsi la ligne $v-v''$ est
sur le plan horizontal la trace du plan de la face latérale de l'empanon.
Cette ligne coupe en j la trace de la face verticale du chevron de noue,
qui reçoit l'assemblage: mettant le point j en projection verticale en j' ,
fig. 4, la ligne 62-63 prolongée doit passer par ce point j' la ligne 61-
64 lui est parallèle, la mortaise est tracée au milieu de l'occupation; des
hachures remplissent sa projection; celles parallèles aux arêtes de la noue,
marquent le fond, les autres marquent une joue apparente et la partie ran-
pante; elles sont parallèles aux arêtes de l'empanon; la projection de l'une
de ces arêtes 52-62, s'obtient en renvoyant le point 52 de la projection
horizontale, sur la projection verticale de l'arête du faîtage. L'empanon
déversé est mis en projection verticale en u , sur le chevron a , fig. 2.

§ 7. *Arêtiers et noues dont les faces d'assemblage sont perpendiculaires
au toit.*

On peut demander pourquoi l'on ne fait point les faces d'assemblages
des arêtiers et des noues qui reçoivent les empanons perpendiculaires au
plan du toit, car il en résulterait des assemblages beaucoup plus simples,

puisque'il n'y aurait plus de biais dans leurs coupes, et qu'ils seraient comme ceux des pièces simplement inclinées l'une sur l'autre. Les figures de la pl. LIII, sont relatives à l'examen de cette question.

Soient ABD , abd , sur le plan fig. 2, les lignes d'about et de gorge sur les sablières répondant à l'angle du bâtiment BC la projection d'une arête qui sépare un long pan d'un pan de croupe; mn l'épaisseur d'un arêtier dévoyée; $m'm'$, $n'n'$, parallèles à BC sont les projections horizontales des arêtes inférieures de l'arêtier.

Soit fig. 3 un profil du pan de croupe couché sur la droite en tournant autour de l'horizontal OD , qui est la trace verticale du plan des sablières. Soit enfin, fig. 2, l'angle mgh , une coupe dans le toit de long pan et couché à gauche en tournant autour de mg horizontale dans le plan des sablières; des points m et n abaissant des perpendiculaires sur les pans des deux toits, elles seront projetées horizontalement sur mg , nf et verticalement sur $m'p'$, $b'q'$; p et q sont en projection horizontale, les points où les perpendiculaires percent les pans des toits; ces perpendiculaires sont dans les faces normales aux pans des toits; par conséquent, les lignes QR , PS sont les projections des arêtes supérieures de l'arêtier, dont les faces d'assemblages, comprises dans les épaisseurs des toits, sont perpendiculaires aux surfaces de ces toits.

Soient fig. 1, ABD , abd , les traces des angles des deux plans du long pan et des deux plans du pan de croupe, sur un plan perpendiculaire à l'arêtier. Cette croupe est obtuse par l'opération que nous avons décrite page 508 et pl. XLVIII, pour une coupe semblable dans l'arêtier de la croupe droite. La largeur de l'arêtier dans l'intérieur du comble étant égale dans cette croupe à celle mn de la projection horizontale, ses faces normales aux toits ont pour trace les lignes mp , nq , et sa coupe perpendiculaire est représentée par le pentagone $Bp m n q$; les côtés Bp , Bq , répondent aux faces délardées. Les angles Bqn , Bpm , de cette coupe, étant droits, les pièces équarries dans lesquelles on pourrait l'insérer sont marquées par les quadrilatères $q-1-2-3$ et $p-4-5-6$, qui présentent tous deux, pour une pièce qui devait fournir l'arêtier, une surface d'équarrissage plus grande que celle du rectangle $m-n-7-8$, équarrissage de la pièce qui suffit pour l'arêtier dont les faces d'assemblages sont verticales. Nous avons projeté, fig. 2 et 3, trois empanons assemblés dans l'arêtier sur sa face normale à la croupe; en i l'empanon est droit, en o il est délardé, et en e il est déversé. Nous avons projeté séparément ce dernier sur deux plans parallèles à ces faces, en e' et en e'' , fig. 4.

La fig. 6 est la projection horizontale d'une noue délardée, pour rendre ses faces normales aux plans des toits. La fig. 5 est une coupe dans l'un des pans du comble. ABD et abd sont sur le plan les lignes d'about et de gorge; BC la ligne de noue; C le poinçon; f les faitages. Le pas $nmnw$ de la noue sur la sablière, étant construit comme nous l'avons déjà décrit page 528, et pl. LI, des points $m'n'$ où les faces verticales de la noue rencontrent les lignes de gorge, points par lesquels passent les arêtes inférieures lorsqu'on délarde la noue en dessous, on abaisse des perpendiculaires sur le plan d'un toit; vu que la noue n'est pas dévoyée, il suffit d'opérer d'un côté. Une de ces perpendiculaires est projetée en bp' , fig. 5; le point p' mis en projection horizontale en p , sur la projection $m'p$ de la perpendiculaire, donne la position de l'arête PS suivant laquelle la face normale de la noue coupe un des pans de toit; la ligne QR est l'arête pour l'autre face normale.

La coupe $nmnw$ perpendiculaire à la noue étant construite, fig. 8, les perpendiculaires abaissées des points $m'n'$, sur les lignes Bn , Bn' , sont les traces des faces normales, et l'heptagone $BPm'nwQ$ est la coupe de la noue délardée.

Il y a avantage sous le rapport de l'économie du bois à délarde les noues; puisque, comme le montre la fig. 8, une pièce de l'équarrissage $n'mnw'$ suffit pour l'exécuter, tandis qu'il faut une pièce $nmnw$ lorsqu'elle ne doit pas être délardée.

Il résulte un autre avantage du délardement des faces d'assemblage des noues, c'est que les empanons sont mieux assemblés; d'abord, parce qu'ils sont coupés carrément, comme le font voir les projections de l'empanon i , et parce que les faces délardées n'étant pas verticales, mais se présentant en dessus, les empanons portent mieux sur leurs *abouts*. L'arétier à faces d'assemblage normales présente au contraire le désavantage que les empanons ne sont point appuyés contre ses faces et n'y sont soutenus que par leurs tenons, tandis qu'ils trouvent un appui contre leurs faces, quand elles sont verticales.

§ 8. Pannes et tasseaux sur arétier.

Les pannes glisseraient au bas des combles, si elles n'étaient pas retenues par des obstacles sur les arbalétriers. Pour les charpentes ordinaires, on se contente de clouer sur chaque arbalétrier et en dessous de l'emplacement de chaque panne qui doit le croiser, un *gousset* ou *chantignolle*,

comme ceux marqués *a* sous les pannes *f*, fig. 4, pl. XLII. Lorsque la composition d'une charpente et le soin qu'on doit apporter dans son exécution commandent plus de solidité, chaque panne *f*, fig. 4, même planche, est appuyée sur un tasseau *z* assemblé dans l'arbalétrier et dans le chevron qui lui correspond; on ajoute au-dessous de ce tasseau une *chantignolle* de sûreté *x*, pour soulager son tenon assemblé dans l'arbalétrier.

Le détail de cet assemblage est représenté sur une plus grande échelle, pl. LIV, fig. 4 et 6, et pl. LV, fig. 4 et 9. *P* et *P'* pannes; *T* et *T'* tasseaux; *R* et *R'* chantignolles clouées. La solidité du tasseau *T* peut être complétée par des embrèvements, comme dans la fig. 2, pl. LIV; la chantignolle *R* est aussi plus solidement fixée par une broche en fer rivée sur l'arbalétrier, ou par un boulon qui les traverse, et on l'empêche de glisser au moyen d'un embrèvement maintenu en joint par un clou ou par une vis à bois.

La fig. 2, pl. LV, est une projection d'un arbalétrier *a* et d'une panne *p* de la fig. 1, sur le plan du toit couché sur la droite. Le chevron *c* est supposé enlevé, pour qu'on puisse voir le tasseau *T* et la chantignolle *R*. La fig. 10, même planche, est également la projection, sur le plan du toit, de l'arbalétrier *a* de la ferme, fig. 9, du chevron correspondant *c* et de la panne *P'*, qui les croise en passant entre eux; le tenon du tasseau *T*, qui traverse le chevron, est apparent; cette figure montre l'enture de deux pannes bout à bout en fausse coupe, et tenue par deux broches en fer rivées.

Chaque cours de pannes règne de niveau sous tous les pans de toit d'un comble.

Les pannes des deux pans de toits contigus, se joignent bout à bout dans le plan vertical passant par l'arête résultant de la rencontre de ces deux pans.

Ces pannes portent sur l'arbalétrier de la ferme arêtière établie sous l'arête, et elles soutiennent le chevron arêtier chargé des empanons. Lorsqu'on façonne les faces supérieures et inférieures de l'arbalétrier et du chevron de cette ferme, suivant des plans parallèles aux deux pans du comble qui forment l'arête, les pannes trouvent leurs chambrées toutes faites; mais lorsqu'on se borne, par économie de travail, à ne délarder que la face supérieure du chevron arêtier, il faut entailler sa face inférieure et la face supérieure de l'arbalétrier pour loger les deux bouts des pannes, qui se réunissent sur la ferme arêtière. L'épure de la pl. LIV a pour objet le tracé des entailles à faire pour le cas d'une croupe, et le tracé du tasseau qui doit supporter les bouts des deux pannes.

La fig. 5 de cette planche est le plan de cette croupe; nous la supposons droite : ce qui va suivre s'applique également à une croupe biaisée. La fig. 4 est la projection verticale de la ferme transversale sur laquelle la croupe est établie, et la fig. 6 est la projection verticale de la ferme de croupe, couchée sur le plan de l'épure, après que son horizontale OF a été reculée suffisamment sur la droite.

Ces figures sont construites suivant les procédés que nous avons précédemment décrits pour l'épure de la croupe droite, pl. XLVIII et page 494. Nous n'avons point figuré d'enrayure ni d'empanons, parce que ces parties de la charpente de la croupe n'ont point de rapport avec l'épure des assemblages des pannes et tasseaux, mais nous avons figuré dans les fermes des arbalétriers a, u, k , et des chevrons c, e, k , qui leur correspondent, pour montrer les relations qu'ils ont entre eux, ce qui satisfait aux deux suppositions que nous avons faites dans les épures précédentes, lorsque nous avons regardé les mêmes pièces comme représentant des chevrons ou des arêtiers suivant le besoin que nous avons eu d'étudier les assemblages des uns et des autres. Les chevrons ont des largeurs moindres que celles des arbalétriers, parce qu'ils ont de moindres efforts à supporter; elles sont proportionnelles à celle des arbalétriers.

Les pannes et tasseaux, qui sont les objets principaux de l'épure, sont marqués sur toutes les projections. Nous nommerons *face externe* d'une panne, celle sur laquelle les chevrons sont appuyés et *face interne*, celle par laquelle cette panne est appuyée sur l'arbalétrier.

Pour satisfaire à la loi des homologues, qui produit toujours un aspect satisfaisant dans les constructions en bois, les abouts des pannes des deux pans devraient être parfaitement égaux et coïncider dans tous leurs points. Il en résulterait que les quatre arêtes de la panne d'un des pans, seraient exactement aux mêmes niveaux que leurs homologues de la panne de l'autre pan; mais il en résulterait aussi que toutes les pannes ne seraient point en bois carrés. En supposant, par exemple, que la panne P du long pan soit équarrie suivant un carré $muvn$, fig. 4, pl. LIV, la panne P' de croupe, fig. 6, serait débillardée suivant le parallélogramme $mzxn$.

Des pannes ainsi débillardées n'auraient pas sur les arbalétriers une stabilité aussi grande que des pannes équarries d'équerre. On pourrait, à la vérité, les maintenir dans leurs positions par des chantignolles placées en dessus, comme celles des pannes qui saillent à l'extérieur des bâtiments, fig. 3, pl. XLIII; mais, entre leurs points d'appui sur les fermes, elles n'auraient point assez de force pour résister à la pression des toits, et elles

pourraient se tordre. Les charpentiers ont donc dû s'écarter pour les pannes de la loi des homologues, et établir comme règle que toutes les pannes seront en bois équarris, en maintenant cependant, suivant ladite loi, que les arêtes des faces externes coïncideront dans chaque cours de pannes, sans chercher à établir aucun rapport de position entre les autres arêtes. Ainsi les arêtes de la face externe de la panne P de long pan sur laquelle posent les chevrons c , fig. 4, et les arêtes de la face homologue de la panne P' de croupe sur laquelle posent les chevrons c , fig. 6, passent par les points m et n , situés à des hauteurs exactement égales, fig. 4 et 6. Les deux autres arêtes d'une panne ne coïncidant pas avec les deux arêtes de l'autre panne, elles ne sont assujetties à aucune autre condition que d'appartenir à des pannes équarrées suivant les carrés $m u v n$, fig. 4, pour le long pan, $m o i n$, fig. 6 pour le pan de croupe (1).

La fig. 3 est la projection de la ferme d'arétier sur le plan vertical, passant par l'arête projetée sur la ligne CD de la projection horizontale; nous nommerons ce plan, *plan vertical d'arétier*.

Les faces verticales de l'arbalétrier et du chevron d'arétier du côté de la croupe, sont en évidence dans cette figure, et c'est sur elle et sur la projection horizontale, qu'on détermine la forme des entailles qui doivent être faites dans ces deux pièces pour le logement des pannes des deux pans.

C'est ordinairement sur les pans principaux, qu'on fait la distribution des pannes, et l'on donne à ces pannes un équarrissage carré. Ainsi la panne P qui règne sur le long pan du comble, et qui est vue par le bout ou en croupe, fig. 4, est un carré $m u v n$. L'emplacement de cette panne étant fixé, celui $m n$ de la panne P' du plan de croupe est déterminé par les horizontales $y m$, $w n$, fig. 6, tracées à même hauteur que les hori-

(1) Lorsqu'une charpente contribue à la décoration intérieure d'une bâtisse, il est préférable de faire coïncider les arêtes des faces internes des pannes, qui posent sur les arbalétriers; attendu qu'elles sont plus apparentes en dedans. L'usage de faire coïncider les arêtes extérieures des pannes, vient probablement de ce que les anciens charpentiers s'exerçaient à la coupe des bois, en construisant de petits modèles de combles, sur lesquels les arêtes des faces externes des pannes se trouvaient être les plus apparentes au dehors, vu l'impossibilité de voir l'intérieur de ces petits combles. Nous avons conservé cette disposition, pour nous conformer à l'usage. La coïncidence des arêtes internes ne donne pas lieu à des épures plus difficiles; les procédés sont exactement les mêmes, sauf qu'ils sont appliqués en sens inverse.

zontales ym, wn de la fig. 4, et l'équarrissage de cette panne, et le rectangle $moin$.

La panne de long pan P est mise en projection horizontale en P par des perpendiculaires abaissées des points m, u, v, n , sur l'horizontale OE prolongée sur la fig. 5 jusqu'à la ligne CD , trace du plan vertical d'arêtier qu'elles rencontrent dans les points m, u, v, n . La panne de croupe P' , fig. 6, est également mise en projection horizontale en P' par des perpendiculaires à la ligne OF prolongées jusqu'à la même ligne CD , qu'elles rencontrent dans les points m, o, i, n . Les points m, n de la projection horizontale, par suite de la construction, se trouvent appartenir aux deux pannes, les deux arêtes de leurs faces externes étant au même niveau.

Les points mn sont construits sur la projection verticale, fig. 3, soit en les renvoyant, par des verticales tm, tn , ou par des horizontales ym, wn , sur la ligne $e'd'$, projection verticale de l'arête qui devrait être creusée dans la face inférieure du chevron d'arêtier; les points n, v, o, i de la projection horizontale sont renvoyés de même en u, v, o, i , en projection verticale, fig. 3, sur la ligne cd , qui représente l'arête saillante de l'arbalétrier, qui devrait être délardé. Le parallélogramme $muvn$ est l'about de la panne de long pan, et le parallélogramme $moin$, est l'about de la panne de croupe; ces deux abouts sont appliqués l'un contre l'autre, dans le plan vertical d'arêtier. Les lignes mu, mo , doivent être parallèles aux lignes uv, ui . Leurs positions peuvent être vérifiées et même construites *à priori* par la considération que l'axe du poinçon étant la commune section des plans verticaux des projections, fig. 4, 3 et 6, les traces d'une surface normale d'une panne, sur deux de ces trois plans, se rencontrent au même point, et qu'ainsi les lignes Op', Oq', Og', Oj' , de la fig. 3, doivent être égales aux lignes Op, Oq , de la fig. 4, et Og, Oj , de la fig. 6.

Les horizontales $m-y, n-w$, fig. 3, sont les projections verticales des deux arêtes externes pour chacune des deux pannes, les horizontales $n-17, v-18$ sont les projections verticales des arêtes de la face interne de la panne de long pan, et les lignes $o-19, i-20$ sont les projections verticales des arêtes de la face interne de la panne de croupe.

Nous avons projeté sur la droite l'arbalétrier h et le chevron k d'arêtier est h' et k' sur un plan perpendiculaire à celui de la projection, fig. 3, et rabattu sur la même projection, en tournant autour d'une ligne parallèle aux arêtes des pièces projetées. Les lignes qui figurent les arêtes des projections h' et k' sont parallèles à celles des projections h et k , comme si l'on

avait donné quartier aux deux pièces pour mettre en évidence le dessus de l'une en k' et le dessous de l'autre en k'' . La ligne $C'D$, sur la projection k' , et la ligne $c'd'$, sur la projection k'' , sont les traces du plan vertical d'arêtier et, par conséquent, les projections des lignes qui représentent l'arête saillante de l'une, si elle était délardée, et l'arête creuse de l'autre, si elle était refouillée.

Les horizontales $m-y$, $n-27$ tracées par les points m , n , fig. 3, déterminent les projections 1', 2' des points dans lesquels les arêtes externes de la panne de long pan rencontrent l'arête inférieure de la face verticale du chevron qui est du côté du long pan; ces deux points sont en projection horizontale en 1 et 2 sur les intersections des arêtes de la panne de long pan et de la ligne qui représente la face verticale du chevron du côté de cette panne. Ils sont renvoyés de la projection k , fig. 3, en 1 et 2 sur la projection k' par des perpendiculaires.

Les points 3 et 4, fig. 3, sont les projections verticales de ceux dans lesquels le bord supérieur $m u$ et le bord inférieur $n v$ de l'about $m u v n$ percent la face inférieure du chevron, représentée par sa trace $l-20$ dans la projection verticale de l'arêtier. Ces deux points sont mis en projection horizontale et renvoyés sur la ligne $c'd'$ de la projection k' ; ils sont cotés des mêmes chiffres. Les lignes 1-3, 2-4 sont par conséquent les intersections des deux faces normales de la panne de long pan avec la face inférieure du chevron. Le prisme compris entre les bases triangulaires et parallèles projetées en $m-1-3$, $n-2-4$, horizontalement et sur la fig. k' et en $m-1'-3$, $n-2'-4$ sur le chevron k de la fig. 3, et dont la ligne $m n$, bord externe de l'about $m u v n$ de la panne de long pan est une des trois arêtes parallèles, est la partie de l'entaille à creuser en dessous du chevron d'arêtier pour loger le bout de la panne de long pan.

Nous trouvons de la même manière que l'autre partie de l'entaille à creuser en dessous du chevron, pour recevoir le bout de la panne de croupe, est le prisme triangulaire dont les bases parallèles sont projetées horizontalement et verticalement suivant les triangles $m-1'-5$, $n-2'-6$, et dont les arêtes sont parallèles à la même ligne $m n$, bord externe de l'about de la panne de croupe.

Par des constructions du même genre, on détermine les formes des entailles à faire sur les arêtes supérieures de l'arbalétrier d'arêtier pour y appuyer les pannes. La partie $u v$ de la ligne $C d$ suivant laquelle l'arbalétrier devrait être délardé pour former l'arête, est le bord interne de l'about $m u v n$ de la panne de long pan. Les lignes $u-17$, $v-18$ sont les projec-

tions de ses arêtes internes; elles percent dans les points projetés en 7 et 8, la face verticale de l'arbalétrier du côté du long pan. La face interne de la panne coupe la face verticale de l'arbalétrier suivant la ligne 7-8, les faces normales de cette panne coupent la même face de l'arbalétrier suivant les lignes 7-9, 8-10 parallèles aux côtés mn , nv de l'about $mnvn$, puisqu'elles sont les intersections de deux plans parallèles par un troisième.

Les lignes 9- u , 10- v , sont les traces des faces normales de la même panne sur la face supérieure de l'arbalétrier; les triangles $u-7-9$, $v-8-10$ sont les bases parallèles du prisme qui marque la forme de l'entaille qui doit être faite sur l'arête de l'arbalétrier, du côté du long pan, pour appuyer la panne de long pan. Nous trouvons de la même manière pour la partie $o i$ de l'arête qui devrait être déladée, que les triangles $o-11-13$, $o-12-14$ sont les projections des bases parallèles du prisme qui marque la forme de l'entaille à faire sur l'autre arête de l'arbalétrier du côté de la croupe, pour appuyer la panne de croupe.

Les charpentiers préfèrent souvent exécuter certaines coupes *sur trait*, plutôt que par le procédé général du *piqué des bois*, notamment lorsque ce procédé donne lieu à quelques difficultés pour l'établissement des pièces sur ligne ou qu'il présente quelque chance d'inexactitude; c'est le cas des entailles sur les arbalétriers et sur les chevrons d'arêtières, qu'il est difficile d'établir sur un ételon en même temps que les pannes. La description que nous venons de faire des formes de ces entailles, suffirait s'il ne s'agissait que de l'étude sur le papier; mais la position des lignes qui marquent le tracé n'est pas assez exactement déterminée pour servir à une coupe sur trait, vu qu'elle résulte de projections successives et de points trop rapprochés. Dans la construction des épures de charpenterie, et surtout dans celle des ételons, plus que dans toute autre application de la géométrie descriptive, la position d'une ligne n'est regardée comme exacte, qu'autant qu'elle est déterminée par des points construits directement et très-écartés afin que les erreurs fort minimes qu'on peut faire sur sa direction, puissent être regardées comme nulles sur la petite partie de cette ligne dont on a besoin. Il convient donc d'établir dans les épures les constructions graphiques qui remplissent le mieux ces conditions, pour les appliquer aux ételons, afin d'obtenir la plus grande perfection possible dans la coupe *sur trait*.

Il est aisé de reconnaître que les lignes my , mj , mq et les lignes nv , nq , np battues sur l'ételon, ne suffiraient pas pour relever avec exactitude le tracé des entailles sur la face de l'arbalétrier, et sur la face du chevron,

vues en k' et en k'' , et qu'on n'obtiendra la précision requise qu'en construisant les lignes de ces entailles directement sur ses faces. Supposons qu'il s'agisse d'abord de tracer sur la face du chevron, vue en k' , les lignes $m-1$, $m-1'$, qui sont les projections sur cette face des arêtes creuses des entailles dans lesquelles les arêtes externes des pannes passant par le point m doivent être logées. On suppose que le plan horizontal passant par ces arêtes sert momentanément de plan de projection horizontale sur la fig. 5; ligne $m-g$, fig. 3, est la trace verticale de ce plan. Par un point quelconque, 50', de la ligne $c''-d''$, représentant l'arête qui devrait être creusée dans le dessous du chevron, on mène un plan perpendiculaire à cette arête; sa trace verticale est la ligne 50'-50; elle coupe le plan horizontal au point 50. Portant la distance $g-50$ de C en 50, fig. 5, sur la ligne d'arêtier, et élevant par le point 50 une perpendiculaire à cette ligne, elle est la trace horizontale du plan perpendiculaire à l'arête creuse du chevron. Cette trace coupe les arêtes des pannes, passant par le point m , dans les points 51, 52. Les distances 50-51, 50-52, à la trace du plan vertical d'arêtier, fig. 5, sont portées sur la projection k' de 50' en 51 et en 52. Sur la trace du plan perpendiculaire à l'arête creuse du chevron, les points 51 et 52 sont les projections des points des mêmes chiffres de la fig. 5, sur la face inférieure du chevron projeté en k' ; conséquemment les lignes $m-51$, $m-52$ sont les projections sur cette face des arêtes des pannes passant par le point m , et les lignes $m-1$, $m-1'$ sont les parties de ces arêtes qui pénètrent dans le chevron; les lignes $n-2$, $n-2'$ sont parallèles aux lignes $m-52$, $m-51$ et peuvent être construites de la même manière.

Les lignes $u-7$, $o-11$ et leurs parallèles $v-8$, $i-12$, peuvent être construites sur la face de l'arbalétrier apparente en k' , en opérant encore de la même manière pour les points u , o , v , i . Toutes ces lignes répondent aux fonds des entailles.

Pour tracer maintenant l'entrée de chaque entaille sur la face supérieure de l'arbalétrier non délardé projeté en k' , et sur la face inférieure du chevron projeté en k'' , on opère par un moyen semblable. Supposons qu'il s'agisse d'abord de tracer sur la projection k' les lignes 2-4, 2'-6; les points 4 et 6 se trouvant déterminés par leurs renvois de la projection verticale, fig. 3, ces lignes sont les traces des faces normales des deux pannes sur la face inférieure du chevron apparente en k' ; opérant premièrement pour la ligne 2'-6; la trace verticale $n-i$, fig. 6, de la face normale inférieure de la panne de croupe prolongée, donne par sa rencontre avec l'horizontale FO aussi prolongée, le point 30, qui appartient à la trace 31-32 de

cette face, sur le plan horizontal, fig. 5. La ligne de gorge 20-32 même fig., perpendiculaire à $C D$, est la trace horizontale de la face inférieure du chevron; les deux traces 20-32 et 31-32 se coupent dans le point 32, qui appartient à la commune section de la face normale inférieure de la panne de croupe et de la face inférieure du chevron; le point 2 est aussi un point de cette intersection, la ligne 2'-32 est par conséquent sa projection horizontale. La trace 20-32, fig. 5, est dans le plan de la face inférieure du chevron, c'est la ligne 20'-32' perpendiculaire à $c'' d''$ sur la face inférieure du chevron, projetée en k' , fig. 3; portant donc de 20' en 32' la longueur de 20-32 prise sur la projection horizontale, fig. 5, la ligne 2'-32' donne sur cette même face k' la position de la ligne 2'-6.

A l'égard du tracé de la ligne 2-4 sur la face k' , attendu que l'espace manque sur l'épure pour construire un point de cette ligne sur le prolongement de celle 20' 32', on a eu recours à un plan horizontal auxiliaire. Soient fig. 1, l'horizontale 40-41, et fig. 3 le prolongement 40-42 de la même horizontale, les traces verticales du plan horizontal auxiliaire, dont nous venons de parler. La trace de la face normale de la panne de long pan, sur ce plan horizontal est la ligne 43-44, fig. 5; la trace de la face inférieure du chevron, sur le même plan, est la ligne 42-44, perpendiculaire à la ligne d'arêtier; le point 42 s'obtient en faisant $C-42$ sur la fig. 5, égale à la distance 40-42 de la fig. 3. Nous remarquons, comme moyen de vérification, que le point 42 de la fig. 3, doit être verticalement au-dessous du point 41 de la fig. 1, dans lequel la trace verticale du plan horizontal auxiliaire coupe la projection verticale 23-24, de la ligne qui est l'intersection du *plan vertical d'arêtier* avec la face inférieure du chevron d'arêtier.

Le point 44 est, sur le plan auxiliaire, l'intersection des traces de la face inférieure de la panne et de la face inférieure du chevron, et le point 2 étant la projection d'un point commun à ces deux faces, la ligne 2-44 est la projection de l'intersection de ces mêmes faces sur le plan horizontal auxiliaire.

Par le point 42 de la fig. 3, traçant une perpendiculaire à la ligne $c'' d''$ sur la face k' du chevron, elle est la même ligne que celle cotée 42-44, fig. 5; portant cette longueur 42-44, de 42' en 44', fig. 3, 2-44' est la ligne dont le trait 2-4 fait partie. On construit de même les traits 1-3, 1'-5, qui sont d'ailleurs parallèles aux traits 2-4, 2'-6, que nous venons de déterminer.

On construit encore de même les traits $n-9$, $v-10$, $o-13$, $i-14$ sur la face h' de l'arbalétrier. Lorsque le chevron est placé au-dessus de l'arbalétrier, ces traits sont parallèles à ceux que nous venons de tracer. Dans l'épure les traits marqués sur la face h' de l'arbalétrier font, en sens inverse avec la ligne $C' D'$, des angles égaux à ceux que les traits marqués sur la face h font avec la ligne $c'' d''$.

Le tasseau d'arêtier T est assemblé à tenons et mortaises dans l'arbalétrier et dans le chevron immédiatement au-dessus des entailles qui doivent recevoir les bouts des pannes; il a la même épaisseur que le chevron; sa face supérieure est taillée suivant les deux rhombes $2-4-v-16$, $2'-6-i-15$, pour recevoir les parties des forces normales inférieures des deux pannes, comprises entre l'arbalétrier et le chevron, qui ne sont pas engagées dans les entailles; ces deux rhombes sont raccordés par un plan vertical $6-4-v-i$ qui est dans le *plan vertical d'arêtier*, suivant lequel les pannes s'aboutent.

La fig. 4 montre séparément le tasseau sous trois aspects : en T' il est projeté comme dans la fig. 3; en T'' , il est vu par le bout qui s'assemble sur la face supérieure de l'arbalétrier; les mortaises de ses assemblages sont marquées sur les projections k' et h' ; en T''' il est vu par-dessous sur la face par laquelle il s'appuie sur la chantignolle. Ces trois projections se correspondent par des perpendiculaires, et les mêmes numéros désignent les mêmes points que ceux projetés fig. 3.

Lorsqu'on délarde la face supérieure de l'arbalétrier, et qu'on creuse la face inférieure du chevron d'arêtier, il est nécessaire de laisser une partie non délardee et une partie non creusée, pour recevoir la chantignolle et les assemblages du tasseau, qui conserve la forme qu'il aurait si l'on s'était borné à de simples entailles.

Le bout de chaque panne de croupe et de long pan ne porte pas sur toute l'épaisseur de l'arbalétrier d'arêtier et du tasseau, puisque, comme nous l'avons vu, on les fait abouter dans le *plan vertical d'arêtier*, elles portent seulement sur la portion de cette épaisseur qui répond au pan dont elles font partie, et du côté de la croupe la portée est ordinairement très-étroite. Quoique les lattis ou les planchers qui forment la *botte* du comble de croupe, en s'attachant sur le chevron d'arêtier qui leur est commun, réunissent les pans de toit contigus, pour maintenir les pannes en joint d'about sur l'arbalétrier et le tasseau, il est convenable de les lier l'une à l'autre par une ou deux bandes de fer pliées sur leurs faces externes et internes et boulonnées. Nous donnons un détail de cette ferrure au chapitre de l'emploi du fer, tome II.

L'entaille qu'on fait sous le chevron d'arêtier, pour loger le bout des pannes qui s'aboutent dans le plan vertical d'arêtier, est un travail de sujétion, peu utile; on peut s'en dispenser en recepant les bouts des pannes qui devraient entrer dans cette entaille, suivant le plan incliné de la face inférieure du chevron, qui porte alors à plat sur les nouveaux abouts des pannes résultant de ce recepage. Les tasseaux ne changent pas de forme, et l'on peut également lier les pannes par des bandes de fer.

On peut assurer la portée des pannes sur les arbalétriers et les tasseaux, en les croisant par entailles à mi-bois suivant un plan horizontal établi à moitié de l'épaisseur de la panne la plus forte qu'on fait passer en dessous. Nous avons représenté isolément, fig. 1 et 4, pl. LXVIII, cet assemblage entre les deux pannes de la croupe, qui fait l'objet de la pl. LXIV. La fig. 4 est la projection horizontale des deux pannes P et P' tournée de façon qu'elle correspond exactement au-dessous de la fig. 1, qui est la projection des deux mêmes pannes sur un plan vertical ayant pour trace horizontale la ligne AB , fig. 4, et qui est perpendiculaire au plan vertical d'arêtier passant par la ligne d'arête projetée sur CD . Nous ne décrirons point les opérations par lesquelles on parvient à ces projections, attendu qu'elles sont fort simples; nous nous bornerons à indiquer ce que représentent les diverses parties de ces projections.

P panne de long pan; P' panne de croupe. La partie mn de la projection de l'arête CD est le côté commun des abouts des deux pannes et de la coïncidence de leurs faces externes. Cette ligne est également marquée $m'n'$ sur les figures de la pl. LXIV. Le rhombe 1-2- m - n est la coupe de la panne de long pan P prolongée, par le plan du dessous des chevrons de croupe. Le parallélogramme 3-4- m - n est la coupe de la panne P' de croupe prolongée par le plan du dessous des chevrons du long pan; la ligne 5-6-7, en projection verticale, et le rectangle 5-6-7-9, en projection horizontale, sont les projections du joint horizontal de l'entaille à mi-bois. Les trapèzes hachés 1-5-6- n , 7-4- m -6, sont les bouts des pannes dans les plans du dessous des chevrons des deux pans, après que l'assemblage est effectué. Le trapèze 4-7-9-10 est une joue de l'entaille dans la panne P ; 10- m -4 est l'onglet de recouvrement de l'arête am de la panne P sur la face normale supérieure de la panne P' .

Le trapèze 5-11- i -9 est la joue de l'entaille de la panne P' , formant onglet de recouvrement de l'arête bi sous la face normale inférieure de la panne P .

On pourrait supprimer ces espèces d'onglets, en les coupant par des plans verticaux, passant par les lignes 4-10, 5-9; et même, pour celui de dessus, on pourrait prolonger la joue de l'entaille suivant le triangle 10-12-4; mais il vaut mieux, pour que l'assemblage soit complet, les conserver.

Le tasseau ne subit point d'autre changement dans sa coupe, sinon que la face sur laquelle il reçoit la panne *P* s'étend sur toute son épaisseur. La ferrure dont nous avons parlé plus haut, est applicable aux pannes entaillées; on peut aussi les traverser par un boulon vertical dans le milieu du joint.

§ 9. Pannes et tasseaux sur noue.

La pl. LXV a pour objet l'épure de la coupe des pannes et des tasseaux qui les soutiennent sur les arbalétriers des fermes de noues.

La fig. 1 est la projection verticale de la partie inférieure d'une ferme transversale du comble établi sur l'aile de bâtiment dont le mur *DA* du plan est une des façades. La fig. 9, couchée à droite sur le plan de l'épure, est une projection de la partie correspondante d'une ferme transversale du comble de l'aile de l'autre bâtiment dont le mur, marqué *DF* au plan, est une façade.

La figure 8 est la projection horizontale de la partie inférieure correspondante de la ferme de noue *CD* des deux combles.

La fig. 3 est la projection de la même partie de cette ferme de noue sur un plan parallèle au plan vertical qui contient l'arête creuse de noue, et que nous nommons *plan vertical de noue*.

Les combles sont supposés de mêmes hauteurs, mais les bâtiments étant de largeurs différentes, comme dans la fig. 7, pl. LI, la noue est dévoyée. On dévoie une noue, comme un arêtier. La fig. 4, même planche, représente l'opération pour dévoyer la noue de la fig. 7, résultant de bâtiments qui ne se rencontrent pas à angle droit.

La noue *CD* de notre épure est dévoyée, vu qu'elle ne fait pas des angles égaux avec les façades des deux bâtiments. Nous avons supposé, dans cette épure, comme dans la précédente, que chaque ferme est pourvue d'un arbalétrier distinct du chevron. Les pannes sont en bois carrés sur les deux pans; elles sont aboutées dans le *plan vertical de noue*, comme celles d'arêtier le sont dans le *plan vertical d'arêtier*; les arêtes de leurs

faces externes passent par les points m, n . L'inégalité d'inclinaison des combles a forcé, comme dans l'épure des pannes de croupe, de s'écarter de la loi des homologues.

Les entailles pour le logement des bouts des pannes dans l'arbalétrier et le chevron de noue, ne diffèrent de celles faites dans l'arbalétrier et le chevron d'arêtier, qu'en ce qu'elles sont faites en sens inverse, c'est-à-dire que celles du dessus de l'arbalétrier de noue sont creusées, au lieu d'être faites en délardements, et que celles du dessous du chevron sont faites en délardements, au lieu d'être creusées. Les constructions graphiques sont les mêmes que celles décrites pour l'épure précédente, et les mêmes lettres désignent, sur leurs deux épures, les mêmes lignes de construction. Nous nous bornerons donc à signaler, sous forme de légende, les principales opérations.

Par le point C de la projection horizontale, on suppose une verticale projetée en OC sur les autres projections fig. 1, 3, 9; elle sert d'axe de repère et remplace l'axe du poinçon commun aux fermes de noue, que l'étendue de l'épure n'a pas pu comprendre.

Le carré P , fig. 1, est la coupe de la panne du grand comble, c'est-à-dire du comble le plus large. Le carré P' , fig. 9, est la coupe de la panne du comble le plus étroit.

Le parallélogramme $mu n$, fig. 3, est l'about de la panne P du comble le plus large dans le *plan vertical de noue*; le rhombe $mo i n$ est l'about de la panne P' du comble le moins large, dans le même plan vertical; les points m et n de ces deux abouts coïncident et sont à même hauteur sur les trois projections verticales fig. 1, 3 et 9 (1). Les hauteurs $O, p, O q$ de la fig. 3 sont égales aux hauteurs marquées des mêmes lettres fig. 1. Les hauteurs $O g, O j$ de la même fig. 3 sont égales à celles marquées aussi des mêmes lettres fig. 9.

Les triangles $m-1-3, n-2-4$ sont les bases parallèles du prisme suivant lequel une des entailles doit être faite sur l'arête du chevron de noue du grand comble, pour recevoir la panne P . Les triangles $m-1'-5, n-2'-6$, sont les bases de l'autre prisme suivant lequel la seconde entaille doit être faite sur l'arête du chevron du côté du petit comble, pour recevoir la panne P' .

Les triangles $u-7-11, v-8-12$, sont les bases du prisme marquant la

(1) La note de la page 554 est applicable aux abouts des pannes de noues.

partie de l'entaille qui doit être creusée sur la face supérieure de l'arbalétrier, pour recevoir la panne P du grand comble, et les triangles $o-9-13$, $i-10-14$, sont les bases du prisme qui forme la seconde partie de l'entaille sur l'arbalétrier qui doit recevoir la panne P' du petit comble.

Les lignes $o-9$, $n-7$, fig. 3, sont les logements des arêtes horizontales supérieures des faces internes des pannes. La ligne $o-19$ est la trace du plan horizontal qui contient l'arête de la panne P' passant par le point o . La ligne $50-51$, fig. 8, est dans le plan horizontal une perpendiculaire au plan vertical de noue. Cette ligne passe par le point 50 de l'horizontale $o-19$ de la fig. 3; elle est projetée sur h' par la ligne $50-50'$ perpendiculaire à la ligne de noue $C D$. La ligne $50'-51'$, fig. 3, est égale à $50-51$ de la fig. 8. La ligne $o-51'$ est la direction du trait $o-9$.

Le point 60 de la ligne $n-n$, fig. 3, étant rapporté sur la ligne de noue $C D$, fig. 8. La ligne $60-61$ est reportée sur la projection h' de 50' en 51; la ligne $n-51$ est la direction du trait $n-7$. Les lignes $i-10$, $n-8$, sont parallèles aux lignes $o-9$, $n-7$.

7-11, 9-13 sont sur projection h' les traces des faces normales supérieures des pannes, sur la face aussi supérieure de l'arbalétrier de noue. Les lignes 40-41 sont dans les trois projections verticales, fig. 1, 3 et 9, les traces d'un plan horizontal auxiliaire. $m-43$, fig. 1, est la trace de la face supérieure de la panne P . 43-44, fig. 8, est la trace verticale de la même face sur le plan auxiliaire. $m-30$, fig. 9, est la trace verticale de la face supérieure de la panne P' . 30-32 est la trace horizontale de la même face sur le plan auxiliaire. 39-41, fig. 1, est la projection verticale de la ligne tracée sur la face supérieure de l'arbalétrier par le plan vertical de noue. Le point 60 est la projection horizontale du point 41 dans lequel cette ligne rencontre le plan auxiliaire. La ligne 32-44, passant par le point 50, est la trace horizontale de la face supérieure de l'arbalétrier sur le même plan auxiliaire. Les points 32 et 44 sont les intersections des traces horizontales des faces supérieures des pannes et de l'arbalétrier sur le plan auxiliaire. Les lignes 32-9, 44-7, sont les projections horizontales, sur le même plan des directions des lignes 7-11, 9-13. La distance $C-50$, prise sur la ligne $C D$, fig. 8, est reportée de 40 en 41, fig. 3, sur la trace du plan horizontal auxiliaire. La ligne 32-44 de la fig. 8 passe par le point 41 de la fig. 3, et est perpendiculaire au *plan vertical de noue*; elle est couchée en 32-44 sur la projection h' ; ses parties 42-32, 42-44, sont égales aux parties 50-32, 50-44, de la fig. 8. Les lignes 7-32, 9-44, sont les directions des traces 7-11, 9-13, des faces des pannes sur la face de

l'arbalétrier ; les traces 8-12, 10-44, leur sont parallèles. Les lignes $m-1$, $m-1'$, $m-3$, $m-5$ et leurs parallèles $n-2$, $n-2'$, $n-4$, $n-6$, de la projection k' peuvent être construites de la même manière ; elles font d'ailleurs, avec la ligne $c d$, des angles égaux, mais inverses de ceux que font leurs correspondantes avec la ligne $C' D'$, sur la projection k' .

On peut assujettir le joint d'about des pannes, dans le plan vertical de noue, par des bandes de fer, pliées et boulonnées sur leurs faces internes, comme nous l'avons déjà indiqué pour les pannes qui s'aboutent sur un arêtier. On peut aussi se dispenser de creuser la face supérieure de l'arbalétrier de noue, en coupant les bouts des pannes suivant le plan de cette face. On peut enfin croiser les pannes dans leurs joints de noues, et les assembler par entailles à mi-bois, comme nous l'avons indiqué pour le joint des pannes sur l'arêtier.

CHAPITRE XV.

EXÉCUTION DE LA CHARPENTE D'UN COMBLE.

Les détails que nous avons donnés au chapitre IX, trouvent leur application dans la construction des ételons et dans l'établissement des bois sur les lignes, pour l'exécution d'un comble. Nous nous bornerons, dans ce chapitre, aux explications indispensables pour l'intelligence des figures relatives à cette partie du travail des charpentiers.

§ 1. *Ételons des enrayures.*

La fig. 1 de la pl. LVI est la représentation à l'échelle de $\frac{1}{50}$ de l'ételon des sablières, et des enrayures d'une croupe droite, et de deux des noues de deux combles, qui ont fait l'objet des épures, pl. XLVIII et LI, et qui sont comprises dans les rectangles ponctués 1-2-3-4, 9-10-11-12, fig. 8, pl. XLIV.

La fig. 1 de la pl. LXII est la projection verticale d'une des fermes transversales des deux combles; les fermes de croupe, d'arêtiers et de noues en sont déduites, comme nous l'avons expliqué, au chapitre précédent, en traitant des épures.

Les épaisseurs des murs sont marquées, fig. 1 pl. LVI, par des lignes parallèles accompagnées de hachures. La ligne brisée 1-2-3-4-5-6, qui contourne les angles saillants et rentrants que font les murs des bâtiments, marque les parois extérieures de ces murs, et le bord extérieur des sablières *b*.

La ligne brisée 1'-2'-3'-4'-5'-6' est l'about des chevrons *a*.

1''-2''-3''-4''-5''-6'' marque la ligne de gorge des assemblages ou *pas* des chevrons sur les sablières, et en même temps le bord intérieur de ces sablières.

1'''-2'''-3'''-4'''-5'''-6''' est la ligne d'about des jambes de force *s* sur les tirants; et 1''''-2''''-3''''-4''''-5''''-6'''' est la ligne d'about des arbalétriers *h* sur les entrails.

La ligne 7-8 et la ligne brisée 9-10-11-12 sont les lignes de milieu du cours de liernes horizontales *y* assemblées dans les entrails.

Le carré *C* est la projection du poinçon de croupe; le carré *C'* est la projection du poinçon de noue (1); *C-3*, *C-4*, *C'-2*, *C'-5* sont les projections, sur l'ételon d'enrayure, des arêtes saillantes de croupe et des arêtes creuses des noues. On a fait en *A* l'opération qui a pour objet de dévoyer les jambes de force, les arbalétriers et les coyers, afin de marquer sur l'ételon la ligne de milieu *c d* de chaque coyer qui doit servir à son établissement dans la composition de l'enrayure. En *B* se trouve également l'opération faite pour dévoyer le chevron d'arêtier, afin de rapporter sur ses faces de dessus et de dessous les lignes d'arêtes saillantes et d'arêtes rentrantes qui doivent être délardées et creusées, et tracer sur l'ételon en projection horizontale les déjoutements et engueulements contre le poinçon *C*, qui doivent être renvoyés en projections verticales sur les ételons des fermes, fig. 2.

C-2, *C'-5* sont aussi les lignes de milieu des tirants ou coyers de noues, qui ne sont pas dévoyés, vu que les deux combles sont de mêmes largeurs.

Les épaisseurs des chevrons des noues sont marquées près du poinçon *C'*, pour tracer les déjoutements et engueulements, et les rapporter sur l'ételon des fermes de noues.

13-14 est la ligne de milieu du tirant de la ferme transversale, combinée dans la croupe et dévoyée de la ligne 13'-14', qui passe par le centre du poinçon, projection de l'angle trièdre ou sommet de la croupe; 2-15, 2-5, 5-15 sont les lignes de milieu des fermes transversales contiguës aux noues; *C-17* est la ligne de milieu du tirant de croupe; 18-20, 19-20 sont les lignes de milieu des goussets de l'enrayure de croupe, parallèles aux diagonales 17-13, 17-14 ou aux arêtes *C-4*, *C-3*; 18'-20', 19'-20' sont les lignes de milieu des mêmes goussets, quand on veut qu'ils fassent des angles égaux avec les tirants dans lesquels ils doivent être as-

(1) La fig. 11, pl. 59, est une projection verticale, et la fig. 12 une projection horizontale, à l'échelle du $\frac{1}{5}$ de la tête du poinçon de noue; son sommet présente ses faces aux faitages et ses arêtes aux engueulements des chevrons des noues; plus bas, elle présente d'autres faces perpendiculaires aux plans verticaux des noues, pour recevoir les assemblages des arbalétriers dont on voit les embrèvements et les mortaises figurés sur les deux faces apparentes. Le corps du poinçon se prolonge par des faces disposées de même pour recevoir les assemblages des liens. Il peut, dans la partie inférieure, reprendre sa forme ordinaire, s'il doit s'accorder avec ceux des fermes transversales des deux combles.

semblés; 28-30, 29-30 sont les lignes de milieu des goussets de l'enrayure des noues, lorsque les tirants des fermes contiguës sont liés par des liernes dans les plans verticaux des fermes sous-faites; ces goussets ont pour objet de raccourcir le tirants des fermes des noues et de les convertir en coyers, pour y employer des bois moins longs. 31-32, ligne de milieu des goussets qu'on peut établir entre les tirants des fermes transversales contiguës afin de réduire les coyers des noues à des semelles, qui posent sur les angles des murs pour recevoir les assemblages des jambes de force des fermes des noues; disposition qui n'a nul inconvénient sous le rapport de la solidité, vu que les murs forment des contre-forts plus résistants qu'il ne faut par rapport à la poussée des fermes des noues privées de tirants. Cette disposition est représentée en projection verticale, fig. 5, pl. LIX.

Lorsqu'on ne fait pas régner un cours de liernes suivant les lignes 7-8, 9-10, 11-12, pour lier tous les entrants des deux combles, il est indispensable d'établir dans l'enrayure de noue, à la hauteur des entrants et coyers d'entrants, un cours particulier de liernes horizontales, dont les lignes 40-41, 41-42, 42-43, etc., sont les lignes de milieu. Trois de ces liernes sont ponctuées. Ces liernes doivent être liées par des goussets établis sur les lignes 44-45.

Les traits ramenerets, tracés sur l'ételon, pour les repères des tirants et coyers qui doivent être établis sur les ételons des fermes après l'avoir été sur ceux des enrayures, sont marqués du signe \times d'usage.

La fig. 10 de la planche LIX représente à l'échelle du $\frac{1}{50}$ l'ételon des sablières et des enrayures d'une croupe braise et des noues braises qui sont comprises dans le trapèze 5-6-7-8 et le carré 13-14-15-15-16, fig. 8, pl. XLIV, et dont les épures ont été le sujet des planches XLIX et LII.

Cet ételon ne diffère du précédent que par le biais résultant de l'inégalité des angles que font les murs du bâtiment. Les mêmes numéros désignent les lignes qui sont homologues dans les deux figures.

§ 2. *Établissement d'une enrayure sur l'ételon.*

La fig. 3, pl. LVI, est la représentation en projection horizontale et à l'échelle du $\frac{1}{50}$ des bois établis en chantier de travail sur la partie de l'ételon, fig. 1, répondant à la croupe droite pour la composition de la première enrayure formée des tirants et coyers qui reçoivent les assemblages des jambes de force.

Le tirant t de la ferme transversale est établi le premier au moyen de la ligne de milieu 13-14, ou au moyen de la ligne 13'-14', dont il est dévoyé et qu'on a pu battre sur sa face supérieure.

Le tirant de croupe d est établi au-dessus; les coyers r sont établis à même hauteur que le tirant de croupe; les goussets p sont établis les derniers; toutes les pièces sont appuyées et calées les unes sur les autres ou sur des chantiers simples, doubles ou triples, suivant le besoin, et comme ils sont indiqués dans la figure, pour les maintenir de niveau; elles sont d'ailleurs sur lignes et de dévers, et leurs traits *ramenerets* sont en coïncidence aplomb avec ceux tracés sur l'ételon.

La seconde enrayure, répondant aux entrails de la ferme transversale et de la ferme de croupe et aux coyers des fermes d'arçonniers, répond aplomb sur la première et n'en diffère que par la longueur des entrails et coyers, qui ne dépassent la ligne d'about des arbalétriers 1^{re}-2^{me}-3^{me}-4^{me}-5^{me}-6^{me} que de ce qu'il faut pour recevoir les assemblages de ces pièces.

Les sablières, ne se trouvant au niveau d'aucune des deux enrayures, ne figurent point dans leur établissement sur lignes; elles font l'objet d'une mise sur lignes particulière sur le même ételon, après que les bois des enrayures sont enlevés.

Nous avons représenté, fig. 5, pl. LVII, l'établissement sur l'ételon d'une partie d'un cours de sablières s , s' et des broquets y qui s'y assemblent; elles sont mises sur lignes par leur face de parement extérieur. La sablière s passe par-dessus la sablière s' ; elles doivent être entées, et elles sont repérées par un trait *rameneret* pour le tracé de leurs joints. Les broquets sont également repérés par des traits *ramenerets*, parce qu'après avoir été assemblés avec les sablières, ils doivent être établis sur les ételons des fermes pour leurs assemblages avec les jambes de force.

§ 3. *Ételons des fermes.*

Le plus souvent on manque de place dans les chantiers, et les charpentiers tracent sur le même emplacement les ételons de plusieurs fermes d'un même comble. Lorsqu'on ne manque pas d'espace et que d'ailleurs on a un grand nombre de fermes à exécuter, on peut tracer à différentes places du chantier le même ételon, pour établir sur lignes et piquer en même temps les bois de plusieurs fermes; cependant comme l'établissement des bois et leur piqué se font avec plus de rapidité que l'exécution des as-

semblages, il vaut mieux, pour obtenir des fermes identiques, établir et piquer l'une après l'autre toutes celles de même espèce sur le même ételon. Il y a aussi avantage, pour la justesse du tracé, de construire les ételons de toutes les fermes d'un même comble, c'est-à-dire celles transversales, les fermes de croupe, les fermes d'arçlier et les fermes de noues, sur le même ételon, parce qu'il en résulte un moyen de vérification certain pour les dimensions en hauteur, qui sont les mêmes. Néanmoins, pour ne point compliquer les exemples que nous avons à donner, nous avons représenté séparément l'ételon de la ferme transversale, fig. 3, pl. LVII, du même comble sur l'échelle du $\frac{1}{50}$. AE horizontale au niveau de la face supérieure du tirant; CO axe vertical du poinçon. La ligne CO est tracée perpendiculairement à AE par les méthodes ordinaires et en employant un très-grand compas à verge. CA , CE , parements extérieurs des chevrons; en dessous de ces deux lignes, deux parallèles marquent l'épaisseur des chevrons. cb , cd , parements extérieurs des arbalétriers; au lieu des lignes CA , CE , cb , cd . On aurait pu, comme le font quelques charpentiers, tracer les lignes de milieu des chevrons et des arbalétriers; mais, toutes les fois qu'il s'agit d'établir avec précision la face d'une pièce de bois, il est préférable de tracer sur l'ételon la projection de cette face, surtout lorsqu'on n'emploie que des bois parfaitement dressés; autrement, si les bois sont employés différemment, comme c'est l'usage pour les charpentes peu importantes, il vaut mieux les établir au moyen des lignes de milieu, ce qui ne dispense pas de tracer sur l'ételon les lignes qui sont les projections des faces dont la justesse serait nécessaire, parce qu'elles servent pour piquer sur les bois les parties qu'il est indispensable de dresser, comme sont les places sur lesquelles portent les pannes dont la position est donnée pour que la surface du toit soit plane.

1-2, est la ligne de milieu des jambes de force des deux côtés; 3-4, est la ligne de milieu de l'entrait; le fûtage, représenté par la figure pentagonale de sa coupe, est haché; les pannes et les sablières, figurées par des carrés et des rectangles égaux à leurs équarrissages, sont également hachées et établies aux places qu'elles doivent occuper; 5-6, lignes de milieu des liens concourant au même point 6 de l'axe CO ; 7-8 lignes de milieu des jambettes; 9-10, lignes de milieu des aisseillers sous l'entrait, concourant au même point 10 de l'axe du poinçon; 11-12, lignes de milieu des blochets; des traits *ramenerets* sont marqués sur l'ételon pour servir de repère aux tirants et entrants qui peuvent avoir été mis sur lignes dans les enrayures. Des traits *ramenerets* sont tracés aussi pour les poinçons qui sont établis sur

lignes dans les fermes transversales et dans les fermes sous-faites ; des traits *ramenerets* sont enfin marqués pour les chevrons correspondants aux fermes, parce qu'ils sont mis aussi sur lignes à la herse, dont nous parlerons au § 5.

Lorsque le sol du chantier est solide et uni, et que d'ailleurs un ételon ne doit pas servir longtemps, on le trace sur le sol ; mais lorsque le terrain est raboteux ou sablonneux et que le tracé ne s'y conserverait pas le temps nécessaire pour le travail, on garnit les emplacements sur lesquels les lignes doivent être tracées avec des planches clouées sur des racineaux enterrés jusqu'à fleur du sol et maintenus, par de forts piquets, dans un plan de niveau.

La fig. 4, pl. LVII, représente en projection horizontale cette disposition, à l'échelle du $\frac{1}{50}$, pour une partie de l'ételon que nous venons de décrire ; le tracé est marqué en lignes ponctuées sur les planches.

Si l'ételon devait contenir plus de détails ou comprendre plusieurs fermes de formes différentes, il serait indispensable, dans le cas d'un mauvais terrain, de faire un plancher plein et entier pour recevoir son tracé et de le couvrir même d'un toit provisoire pour sa conservation.

La fig. 2, pl. LVI, est la représentation à l'échelle du $\frac{1}{50}$ d'un ételon sur lequel se trouvent réunis les tracés des fermes de croupe, d'arêtier et de noue, correspondant à la ferme transversale, dont nous venons de décrire l'ételon, et faisant partie du même comble. Les lignes marquées des mêmes numéros sont les lignes de milieu des pièces de bois inclinées de même espèce. Les lignes inclinées marquées de numéros sans minutes ni secondes appartiennent à l'ételon de la ferme de croupe ; celles dont les numéros sont accompagnés du signe ' appartiennent aux numéros de la ferme d'arêtier ; celles enfin dont les numéros sont accompagnés des signes " appartiennent à la ferme de noue.

Les trois ételons sont établis sur la ligne $O'' E$ qui est au même niveau que la ligne $A E$ de l'ételon, fig. 3, pl. LVII, et est, comme cette ligne, l'affleurement de la face supérieure des tirants et coyers. Les trois ételons ont pour point commun l'about e des chevrons sur les sablières. On aurait pu leur donner pour partie commune l'axe des poinçons ; dans ce cas, les lignes $C O$, $C' O'$ se seraient confondues en une seule ligne sur $C'' O''$. Mais comme on doit battre près de ces lignes les projections des arêtes des poinçons et les tracés des déjoutements et engueulements, il est préférable qu'elles soient distinctes pour éviter la confusion dans ces tracés.

Les désignations des lignes sur le triple ételon étant les mêmes que sur

l'ételon de la ferme transversale, fig. 3, pl. LVII, nous renvoyons à l'énumération que nous en avons faite ci-dessus, page 567. Les lignes horizontales, dont les extrémités sont marquées de petites lettres, ont pour objet de vérifier l'exactitude des tracés des trois ételons. Ainsi la ligne fg passe par les trois sommets C, C', C'' ; les trois points $5, 5', 5''$ d'intersection des lignes de milieu des liens avec les lignes des faces supérieures des chevrons doivent se trouver sur la ligne horizontale kh ; les intersections $6, 6', 6''$ des mêmes lignes de milieu, avec les axes des poinçons, doivent se trouver sur l'horizontale nl ; les intersections des jambettes $7, 7', 7''$, avec les lignes des surfaces supérieures des chevrons, sont sur l'horizontale ij ; les intersections $2, 2', 2''$, des lignes de milieu des aisseliers, prolongées avec les mêmes lignes des chevrons, sont sur l'horizontale pq ; enfin, les intersections $9, 9', 9''$, des mêmes lignes de milieu avec celles des jambes de force, sont sur l'horizontale mn .

La ligne 5-6 marquerait la ligne de milieu du lien sous la panne la plus élevée de la croupe, si l'on suivait pour cette panne la loi des homologues; mais, lorsque cette ligne fait avec l'axe du poinçon un angle trop aigu, ce lien doit être comme les faces normales de la panne perpendiculaire au plan du toit, et l'on trace la ligne xy perpendiculaire à la ligne CE pour ligne de milieu de ce lien. On pourrait faire le même changement pour la direction de la ligne de milieu du lien de la ferme d'arêtier, et lui donner la direction $x'y'$, en prenant les points x' à même hauteur que le point x sur l'horizontale zs , et le point y' sur la même horizontale $z's'$ que le point y ; mais il est mieux de lui laisser la position 5-6'.

La ligne RR est le trait *rameneret* commun aux tirants, entrants et coyers des trois fermes et qui correspond exactement à ceux tracés à égales distances des lignes d'about des chevrons pour les mêmes pièces de toutes les mêmes fermes sur l'ételon des enrayures, fig. 1, pl. LVI; il conviendrait aussi au tirant et à l'entrant de la ferme transversale dont l'ételon est représentée, fig. 3, pl. LVII. La ligne RR est le trait *rameneret* commun à tous les poinçons.

§ 4. Établissement des fermes sur leurs ételons.

La fig. 2. de la pl. LVII est la représentation en projection horizontale sur l'échelle du $\frac{1}{50}$ de l'établissement des pièces de bois qui doivent composer une des fermes transversales du même comble.

Les lettres et les numéros dont les pièces et les lignes de cette figure sont

marquées, sont suffisants pour montrer les rapports de cet établissement avec l'ételon sur lequel il est fait, qui est le même que celui représenté fig. 3 de la même planche, et avec la ferme assemblée fig. 1, pl. XLII. Les pièces établies par le moyen de leurs lignes de milieu sont lignées sur la fig. 2, pl. LVII, comme sur la fig. 1, pl. XLII. Les traits ramenerets sont marqués sur le tirant, l'entrait et le poinçon.

Les figures des pannes ne sont marquées sur l'ételon, fig. 2 et 3, que pour qu'on reconnaisse aisément leurs *chambrières*. Toutes les pièces sont sur lignes de niveau et de dévers, les traits *ramenerets* en coïncidence; elles sont portées les unes sur les autres et sur des chantiers en nombre suffisant et aisés à distinguer dans la figure pour les élever aux hauteurs que leur établissement exige. Dans cet état, les bois sont prêts à être piqués.

La fig. 1 de la même pl. LVII est la représentation en projection horizontale, et sur la même échelle, de l'établissement sur l'ételon des pièces qui doivent composer une partie de l'une des longues fermes sous-faîte du même comble, fig. 2, pl. XLIV. Nous n'avons point représenté à part l'ételon de ces fermes, parce qu'il se trouve figuré par les lignes de milieu des pièces établies dans cette même figure 1, pl. LVII. Les pièces de bois sont marquées des mêmes lettres que celles de la fig. 2, pl. XLIV. Les poinçons, pièces communes avec les fermes transversales, sont marqués de leurs traits *ramenerets* qui sont en coïncidence avec la ligne *R' R'* tracée à même hauteur que celles *R' R'* des autres ételons. Toutes les pièces sont établies de niveau et de dévers sur lignes et supportées, suivant le besoin, sur un nombre suffisant de chantiers : dans cet état, elles sont prêtes à être piquées.

§ 5. Herse.

L'établissement des bois d'un *pan de toit* sur son ételon a reçu le nom de *herse*, à cause de sa ressemblance, notamment pour celui de croupe, avec la herse du laboureur. On réunit en un seul ételon tous les ételons partiels des pans des toits d'un comble pour ne tracer qu'une fois les lignes représentant les arêtes saillantes ou rentrantes communes à deux pans contigus; de cette sorte, l'ételon de la *herse* d'un comble est le développement de tous ses pans de toits, aplatis sur le sol horizontal du chantier.

La fig. 2, pl. LVIII, représente le développement du comble projeté horizontalement, fig. 8, pl. XLIV, sur la même échelle. Tous les pans de ce

comble, construits suivant leurs véritables figures, sont ramenés dans un même plan en tournant autour des lignes qui leur sont communes; les points c et c' de chaque bout se réunissent pour former les centres des poinçons des noues.

Les mêmes lettres désignent sur les deux figures les mêmes points. L'un des deux longs pans qui couvrent le bâtiment du milieu, et qui est ponctué en $c' c' a c$ est divisé en deux parties, afin que chacune d'elles puisse rester jointe à la noue par laquelle elle est jointe à un autre pan.

La fig. 5, pl. LVIII, est la représentation à l'échelle du $\frac{1}{50}$ de l'ételon de la herse d'une croupe droite et d'une noue du même comble, fig. 8, pl. XLIV, qui a déjà fait l'objet des planches précédentes. Pour construire la partie de l'ételon de la herse du pan de croupe droite, on trace sur l'aire du chantier la ligne 3'-4' que l'on fait égale à la ligne d'about des chevrons, désignée par les mêmes chiffres sur l'enrayure de la croupe, fig. 1, pl. LVI. Au milieu de cette ligne, on élève, par le moyen de deux arcs de cercle $m m, n n$, décrits des points 21 comme centres, la perpendiculaire 17-C', que l'on fait égale à la ligne $c C$ du profil de croupe sur l'ételon de la ferme de croupe, fig. 2, pl. LVI. Le triangle 3'-C'4' est le périmètre du pan de croupe, suivant sa véritable grandeur et rabattu sur le sol. Pour établir les ételons des longs pans contigus, des points 3' et 4', comme centres avec des rayons égaux aux distances 3'-13', 4'-14' d'un des abouts d'arçonniers aux abouts des chevrons de la ferme transversale, on décrit les arcs $x y$, et du point C' comme centre avec un rayon égal à la longueur $C e$ du profil des longs pans prise sur l'ételon de la ferme longitudinale, fig. 3, pl. LVII, on décrit les arcs de cercle $z r$ qui donnent les points 13' et 14' (1). Les triangles rectangles C'-13'-3', C'-15'-5' sont sur l'ételon de la herse les véritables grandeurs des triangles projetés sur l'ételon d'enrayure, fig. 1, pl. LVI, et désignés par les mêmes lettres.

Par conséquent les lignes 3'-13', 4'-14' donnent les directions des lignes d'about des longs pans sur l'ételon de herse, et les lignes C' C', qui leur sont parallèles, donnent les directions des lignes de faite. Si l'on voulait établir en entier sur l'ételon les herSES des longs pans, il faudrait de chaque côté marquer sur les lignes 3'-13', 4'-14' des longueurs exactes 3'-2', 4'-5' de l'ételon d'enrayure; mais, les chevrons des longs pans étant égaux, on

(1) L'angle C-14'-4' étant droit, on peut vérifier la position du point 14' en décrivant, du point 20' comme centre et avec le rayon 20'-C', ou 20'-4', l'arc de cercle $r s$ d'un demi-cercle qui doit passer par le point 14'.

n'a pas besoin de les établir en herse aux distances qu'ils doivent avoir entre eux pour les couper de même longueur, et l'on ne construit les ételons de herse que pour les empanons, à moins que les pans des toits ne soient composés d'assemblages qu'il faut piquer, comme les *Dachstuhl*, dont nous avons parlé page 484, auquel cas on construit les ételons des longs pans en entier. L'ételon des empanons d'arêtier, fig. 5, pl. LVIII, se borne donc pour la croupe au tracé compris dans l'angle formé par les lignes 13-C', C'-14'. Pour construire l'ételon des empanons de noue, ayant tracé les lignes 2'-G, 5'-G parallèles aux lignes 13-C', 14-C' à des distances arbitraires mais égales, on porte sur les lignes de fûte la longueur G C', égale à la longueur G C' de la partie du faitage sur laquelle doivent s'appuyer les empanons de noue, prise sur l'ételon d'enrayure, fig. 1, pl. LVI. Les lignes 2'-C'', 5'-C'', fig. 5, pl. LVIII, sont les lignes de noues sur l'ételon de herse. En construisant sur ces lignes les triangles C''-G''-2', C''-G''-5' égaux aux triangles C''-G''-2', C''-G''-5', les lignes C'' G'' sont des deux côtés les lignes de faites, et les lignes 1'-2', 5'-6', qui leur sont parallèles, sont les lignes d'about des chevrons des pans des toits contigus. Si l'on a opéré avec précision, la croupe étant droite, le point V d'intersection des lignes 1'-2', 5'-6' prolongées, doit se trouver sur la ligne C'-17'. Le point U d'intersection des lignes de fûte C'' G'' doit se trouver aussi sur la même ligne C'-17', et les lignes de noue 2'-C'', 5'-C'' doivent également se couper sur un point de la ligne C'-17' qui serait prolongée; enfin les lignes de fûte prolongées doivent couper la ligne d'about de croupe dans les points H, situés à égales distances du milieu 17'. L'exactitude du périmètre de l'ételon étant vérifiée, on distribue les lignes de milieu des empanons, qui passent par des points de divisions égales pour chaque pan marquées sur les lignes d'about 1'-2', 2'-3', 3'-4', 4'-5', 5'-6' et sur les lignes de faites G'' C', C'' C', qui leur sont parallèles; on trace même par le point C' une ligne auxiliaire M N parallèle à la ligne d'about 3'-4', de la croupe pour tenir lieu de la ligne de faite, afin d'y marquer les points de division correspondants à ceux de cette ligne d'about. La croupe étant droite et les noues résultant de combles qui se rencontrent à angles droits, les lignes de milieu des chevrons et empanons sont perpendiculaires aux lignes d'about et de faite.

La distribution des empanons étant faite, on projette les lignes qui doivent donner les coupes des abouts des panues et celles des assemblages des mêmes empanons, tant sur les sablières que sur les chevrons d'arêtiers et de noues et au-dessus des faitages. On marque d'abord les projections

des lignes de gorge des *pas* des chevrons et empanons sur les sablières. Du point *e'* de la gorge de ces *pas* sur l'ételon de la ferme transversale, fig. 3, pl. LVII, on abaisse une perpendiculaire *e' g* sur la ligne qui marque la face extérieure des chevrons ou le profil du toit, et l'on porte la distance *e g* du pied de cette perpendiculaire, à l'about des chevrons de *e* en *g* sur deux des lignes de milieu des empanons des longs pans de l'ételon de *herse*. Les lignes 1'-2', 2'-3', 4'-5', 5'-6', qui passent par les points *g*, sont les projections des lignes de gorge des chevrons et empanons des longs pans. La projection de la ligne de gorge 3'-4' des empanons de croupe est déterminée de même en faisant *e' g'* sur deux des lignes de milieu des empanons, égale à la ligne *e g*, fig. 2, pl. LVI, qui est la distance de l'about du chevron de croupe à la perpendiculaire abaissée de sa gorge *e'* sur le plan du toit.

Les lignes de délardement des chevrons d'arêtier qui sont dans les plans des pans des toits, sont tracées sur l'ételon parallèlement aux lignes d'arêtiers, par les points *u, v*, marqués sur les lignes d'about, comme ils le sont sur les mêmes lignes de l'ételon d'enrayure où l'on a dévoyé les chevrons d'arêtiers. Ainsi, les largeurs 3'-*u*, 3'-*v*, 4'-*u*, 4'-*v* de l'ételon sont égales aux largeurs marquées des mêmes chiffres et lettres sur l'ételon d'enrayure, et les lignes *t u, s v*, parallèles aux lignes d'arêtiers, sont les projections des arêtes de délardement des chevrons d'arêtiers projetés suivant les lignes marquées des mêmes lettres sur l'ételon d'enrayure; les espaces compris entre ces lignes et les lignes d'arêtiers C-3, C-4, sont, sur l'ételon de *herse*, les largeurs réelles des faces délardées des chevrons d'arêtiers. Les arêtes inférieures des faces verticales de ces chevrons se projettent sur l'ételon de *herse* en abaissant des points *m* et *n* de l'ételon d'enrayure des perpendiculaires *m p, n q*, sur les lignes d'about; on reporte sur les lignes d'about de l'ételon de *herse* les distances 4'-*p, 4'-q*, les perpendiculaires élevées par les points *p* et *q* marquent sur la ligne de gorge 3'-4', 4'-5', les projections des points *m* et *n* qui appartiennent aux lignes *l m, k n*, parallèles aux lignes d'arêtiers et qu'il s'agissait de projeter sur l'ételon de *herse*. Ces mêmes lignes sont tracées symétriquement et parallèlement à l'arêtier C-3'. Les espaces compris entre les lignes *t u* et *l m*, et entre les lignes *s v* et *k n* sont les projections à la *herse* des faces des chevrons d'arêtiers qui contiennent les occupations des assemblages des empanons.

Ces constructions sont fondées sur ce que dans le mouvement de rotation qu'on suppose que les pans des toits font autour des lignes d'about pour

s'appliquer sur le sol horizontal de l'ételon de *herse*, les points m et n ont décrit des arcs de cercle compris dans des plans verticaux projetés sur les lignes $p m, q n$.

Par une construction semblable, on a projeté sur l'ételon de *herse* les faces des chevrons de noue qui reçoivent les assemblages des empanons. Les arêtes $t u, s v$, qui marquent sur l'ételon de *herse* la largeur des faces creusées dans le dessus des chevrons de noue, passent par les points u et v des lignes d'about, rapportées en faisant $5'-u, 5'-v$ égales aux mêmes distances sur l'ételon d'enrayure.

Les arêtes des faces verticales qui contiennent ces mêmes lignes passent par les points m et n situés à égales distances du point $5'$. L'un des deux points, celui n , s'obtient en abaissant du même point de l'ételon d'enrayure une perpendiculaire $n q$ sur les lignes d'about $5'-6'$, et reportant la distance $5'-q$ sur l'ételon de *herse* pour tracer une perpendiculaire $q n$; les distances comprises entre les lignes $l m, k n$, et la ligne de noue $C'' 5'$, sont les projections des faces des chevrons qui reçoivent les assemblages des empanons. La même construction est répétée sur les autres lignes de noue.

Les empanons de noue des deux pans d'un même toit, séparés par la ligne de faite $C' C''$ ainsi que les chevrons des mêmes pans, s'assemblent entre eux à tenons et enfourchements, comme ils sont représentés fig. 7, pl. LIV. Pour qu'on puisse tracer leurs joints à la *herse*, on met en projection sur l'ételon, fig. 5, pl. LVIII, les lignes qui marquent la largeur de leurs abouts; la ligne $C' C''$ marque la ligne de faite dans laquelle se trouvent toutes les arêtes supérieures des abouts des chevrons et des empanons de noue; la ligne $j j$ qui lui est parallèle, est tracée à la distance $i j$ prise de C en j sur l'ételon de la ferme transversale des longs pans, fig. 3, pl. LVII; elle marque le fond des entailles d'enfourchement et les épaulements des tenons, et la ligne $j' j'$ également parallèle à $C' C''$ tracée à la distance $i j'$ prise sur la même ferme transversale de C en j' , marque l'épaisseur des empanons sur le toit contigu.

La fig. 3, pl. LIX est l'ételon de *herse* de la croupe biaise et d'une noue, dont la fig. 2 est l'ételon d'enrayure. Les longues explications que nous avons données sur l'ételon de *herse* de la croupe droite et des noues, s'appliquent à celui-ci qui n'en diffère que par le biais résultant de la disposition des bâtiments A et B , fig. 8, pl. XLIV.

Les lignes d'arêtier et des noues, tracées en entier sur l'ételon de *herse*, sont celles projetées en $C-4, C' 5'$ sur l'ételon d'enrayure, fig. 10. Le triangle

du pan de croupe 3'-C-4' se construit sur l'ételon de *herse*, en faisant sa base 3'-4' égale à la ligne d'about 3'-4' de l'ételon d'enrayure, et élevant par son point 17 une perpendiculaire égale à la longueur de la pente du toit de croupe prise comme précédemment de e en C , fig. 2, pl. LVI, sur l'ételon de la ferme de croupe. Pour tracer le long pan 4'-C-C-5', on construit d'abord le triangle 4'-C'-19, en faisant la base 4-19 égale à la même ligne de l'ételon d'enrayure et la perpendiculaire 19-C égale à la longueur de la ligne de pente du long pan mesuré de e en C sur l'ételon de la ferme transversale, fig. 3, pl. LVII, la ligne de faite $C C$ est égale à celle projetée de C en C' sur l'ételon d'enrayure; elle est parallèle à la ligne d'about 4'-19.

Les lignes d'arêtier et de noue C-4', C-5' doivent être égales à celles qui se trouveraient construites sur les ételons des fermes d'arêtier et de noue, si nous les eussions compris dans nos figures.

§ 6. *Établissement des pannes, des chevrons et des empanons en herse.*

L'ételon de *herse*, pour la croupe droite et les noues, fig. 5, pl. LVIII, étant complété, on établit les chevrons et empanons sur lignes de niveau et de dévers. La figure présente six empanons de la croupe droite en *herse* sur lignes de niveau et de dévers, pour s'assembler dans les chevrons d'arêtiers; cinq empanons de long pan également sur lignes pour s'assembler dans le même chevron, et quatre empanons de noue qui doivent s'appuyer sur les faitages et s'assembler par le bas dans le chevron de noue; tous sont de niveau et de dévers; ils sont supportés par les pannes pour le cas où l'on aurait tracé les lignes de coupe de leurs abouts: lorsque les chevrons et empanons ne sont point posés en *herse* sur leurs pannes, ils sont supportés comme les autres bois sur lignes par des chantiers.

Lorsque tous les empanons et chevrons d'un pan sont définitivement établis, on rapporte sur leurs faces les lignes que nous avons tracées sur l'ételon pour marquer leurs assemblages, soit en piquant, à l'aide du fil à plomb, les empanons l'un après l'autre, soit en battant tout d'un coup avec le cordeau blanchi, sur leurs faces supérieures, les portions de lignes qui répondent aplomb au-dessus de chacune de celles de l'ételon; les empanons sont ensuite soumis à la marque, et l'on procède au tracé et à la coupe de leurs tenons et mortaises.

Ordinairement les chevrons d'arêtier et de noue ne sont point établis sur les ételons de *herse*, parce qu'ils ne peuvent faire face de parement en

même temps des deux côtés sur les pans contigus. Les occupations des empanons sont marquées sur les faces des chevrons d'arêtiers ou de noues, lorsqu'ils sont établis sur les ételons des fermes, et pour opérer avec plus de justesse, ce n'est que lorsque la ferme est assemblée, qu'on trace sur les faces des chevrons d'arêtier et de noue, les mortaises qui doivent recevoir les tenons des empanons, et l'on procède alors absolument comme dans les épures, c'est-à-dire qu'on regarde la ferme d'arêtier ou de noue assemblée comme une projection verticale, et qu'on relève de l'ételon d'enrayure la position des lignes qui marquent l'about et la gorge de chaque mortaise, comme nous l'avons indiqué page 533.

Ce mode est exact, sans doute, lorsqu'on y apporte du soin; mais on obtient plus de précision en établissant en *herse* les chevrons d'arêtier et de noue au-dessous des empanons, et en leur donnant, pour chaque pan l'un après l'autre, la position qu'ils doivent avoir lorsque ces empanons sont assemblés. Nous donnons un exemple de cette manière de piquer les empanons et les chevrons qui reçoivent leurs assemblages, fig. 6 et 8, pl. LVIII, pour une portion d'un chevron d'arêtier.

La fig. 6 est la projection horizontale d'un chevron d'arêtier *C* établi sur ligne et en *herse*; son arête résultant du délardement préalable de ses deux faces, est aplomb au-dessus de la ligne *C-3'* qui est l'arête de croupe sur l'ételon de *herse*; il est élevé sur des chantiers. Trois empanons de croupe *B, B', B''*, sont également établis sur lignes; ils portent d'un bout sur des chantiers *H, H', H''*, et de l'autre bout sur le chevron *C* dans lequel ils doivent être assemblés. Toutes ces pièces, délardées d'avance avec précision, sont sur lignes de niveau et de dévers.

La fig. 8 est une coupe de cet établissement suivant une ligne *M N*, fig. 6. On y voit l'arbalétrier *C*, établi dans les entailles des chantiers *D* qui le portent; il est de niveau, et sa mise de dévers consiste dans la position exactement de dévers de la face délardée qui fait partie du plan du toit auquel les empanons appartiennent. On pique les assemblages sur les empanons et sur les chevrons d'arêtier, un à un, au moyen du fil aplomb et du compas, en suivant les procédés que nous avons décrits au chapitre IX. Lorsque le piqué des bois d'un pan de toit est terminé, et que les piqûres sont reconnues, on enlève les empanons pour tracer et tailler leurs tenons, puis on déverse chaque chevron d'arêtier pour le mettre de nouveau sur ligne par son arête, et de niveau et de dévers par sa face de délardement qui appartient au pan de toit contigu qu'il s'agit d'établir sur l'ételon en *herse*.

Nous n'avons point tracé sur l'ételon de *herse* la projection des arêtes de l'arbalétrier et des chevrons comprises dans les plans verticaux d'arêtier et de noues, entre lesquelles les pannes des deux pans s'aboutent, et qui répondent à la chambrée des pannes, parce que plusieurs de ces lignes, vu la petitesse de l'échelle de dessin, seraient près de se confondre avec les lignes déjà tracées; d'ailleurs, on se dispense souvent de présenter les pannes en *herse* sur le grand ételon, vu qu'elles ne sont jamais d'une seule pièce sur leur longueur et qu'il suffit de couper leurs extrémités qui doivent se joindre à bout, soit sous les arêtiers, soit sous les noues; on trace alors un petit ételon partiel de *herse*, comme celui fig. 7, sur lequel on présente les bouts qui doivent se joindre, et l'on ente les différentes parties des pannes, après que les bouts sont ainsi ajustés.

L'ételon partiel, fig. 7, se rapporte à l'arêtier; $C-4'$ est la projection de l'arête; $3'-4'$, la ligne d'about de croupe; $4'-5'$, celle du long pan, la ligne $3''-4''$ et la ligne $4''-5''$ sont les lignes de gorge des assemblages des chevrons sur les sablières de croupe et de long pan.

$f o$, $h o$, sur l'ételon d'emrayure, fig. 1, pl. LVI, sont les lignes d'about des arbalétriers des deux pans; le point o est, par conséquent, l'about de l'arête délardée de l'arbalétrier d'arêtier, et $4''$ est le point de la gorge du chevron dans l'arête creuse de son dessous, arêtes qu'il s'agit de projeter sur l'ételon de *herse*, fig. 7. On met en projection les lignes $f o$ et $h o$, parallèles aux lignes d'about en faisant les perpendiculaires $e'' g''$, $e' g'$ égales aux distances du point e au point g'' , fig. 2, pl. LVII, ou du point e au point g' , fig. 2, pl. LVI, et sur les lignes $h o$, $f o$, $4''-5''$, $4'-5'$, on rapporte le point o et le point $4''$ de l'ételon d'emrayure, par des perpendiculaires $o q'$, $o p'$, $4''-d$, $4'-b$, tracées à des distances du point $4'$ prises sur l'ételon fig. 1, pl. LVI.

Les lignes $t o$, $c-4'$ du côté du long pan, $s o$, $a-4'$ du côté de la croupe, sont les projections des arêtes de l'arbalétrier et du chevron d'arêtier, suivant lesquelles les pannes doivent être coupées. Il suffit alors de présenter en *herse* sur cet ételon, les pannes $P P'$ parallèlement aux lignes d'about des pans auxquels elles appartiennent et de piquer sur leurs faces les lignes que nous venons de déterminer, pour que l'on puisse tracer les coupes de leurs abouts.

Lorsque les chevrons sont assemblés dans les pannes, comme dans les combles que nous avons figurés sous les numéros 4 et 14, pl. XLI, il est indispensable d'établir ces pannes en *herse* en même temps que les chevrons et empanons.

A l'égard du tracé des entailles et de l'assemblage des tasseaux, pour loger et soutenir les bouts des pannes entre les arbalétriers et les chevrons d'arêtiers et de noues, lorsqu'on ne forme pas leurs arêtes sur toute leur longueur, il faut établir ces pièces l'une après l'autre de nouveau et de dévers, la face à entailler en dessus, sur un ételon de *herse* qu'on a construit exactement comme les projections *h'* et *h*; fig. 3, pl. LIV et LV, et relever au moyen du plomb et du compas, les lignes du tracé de cet ételon sur les faces à entailler; c'est ce qu'on appelle *couper sur trait*.

Nous avons fait remarquer page 574, que pour la construction des ételons de *herse* des longs pans, on ne leur donne pas en longueur leur étendue réelle, et qu'on rapproche autant qu'on le peut les parties des empanons de noues de celles des empanons d'arêtier, en ne laissant entre elles que juste la largeur nécessaire pour établir les chevrons des longs pans jointifs, sans avoir égard aux distances qui les sépareront lorsqu'ils seront en place dans la construction des toits. Cette réduction de l'étendue des longs pans dans les ételons de *herse*, ménage l'espace sur les chantiers et procure plus de justesse dans le tracé des chevrons, vu que l'on bat d'un seul coup et en même temps que sur les empanons chacune des lignes répondant à leurs embrèvements sur les sablières et à leurs assemblages au-dessus du faitage, ces lignes étant plus courtes; ainsi l'on n'écarte les points *G'* et *5'*, pl. LIX, que de l'espace nécessaire pour placer les chevrons du long pan les uns à côté des autres, parallèlement aux lignes *G-14*, *G-5'*, et ceux des fermes sur traits *ramenerets*.

L'ételon de *herse*, pour la croupe braise et les noues inégales, fig. 3, pl. LIX, porte cinq empanons de chaque côté de la ligne d'arêtier par lesquelles on a commencé l'établissement en *herse*; trois de ces empanons marqués *a* sont délardés; ils sont dirigés parallèlement au plan de la ferme de croupe, comme celui 20-20' de l'ételon d'enrayure, fig. 2, et comme ceux de la fig. 8, pl. XLV; les deux autres marqués *c* sont déversés; ils sont dirigés dans le même sens, comme ceux du pan de croupe de la fig. 12, même planche XLV.

Deux empanons déversés *a'*, et cinq empanons délardés, marqués *a*, sont établis en *herse* sur la ligne de noue *G'-5'*. Le point d'assemblage des deux empanons les plus rapprochés de l'about de noue, marqué *5'* et dont un seul est figuré, est choisi de façon qu'il ne coïncide pas avec cet about.

La fig. 6 est une coupe de deux empanons déversés, par un plan vertical sur la ligne *p m*; et la fig. 7 est une autre coupe de trois empanons délardés, par un plan vertical sur la ligne *q n*. Les chantiers sur lesquels

ces cinq empanons sont censés établis, ne sont point marqués sur l'ételon, fig. 3.

La fig. 8 est le développement des toits d'un *cinq-épis*, fig. 1, pl. XLVII. Les quatre points *c* de ce développement doivent se réunir au centre; les côtés *a'm* doivent se rapprocher et se confondre.

Le développement des toits du *cinq-épis*, fig. 6, pl. XLVII, ne différerait de celui-ci qu'en ce que les pans en trapèze, comme celui *c-a-4-p*, seraient réduits à des triangles tels que *c-a-p'*, vu que les arçliers et la noue de chaque angle du pavillon, concourent en about au même point.

L'ételon de herse d'un cinq-épis serait construit sur le sol du chantier suivant le développement de ses pans de toits; mais on manque souvent d'espace pour le tracer en entier, ce qui d'ailleurs n'est pas nécessaire lorsque quelques pans sont exactement pareils, comme dans les cinq-épis, fig. 1 et 6, où chaque pan se trouve répété quatre fois. On réduit alors l'ételon et l'on n'y construit qu'un pan de chaque forme. L'ételon, fig. 8, du cinq-épis, fig. 1, pl. XLVII, serait ainsi réduit, comme il est représenté en petit, fig. 9, pl. LIX, il ne contiendrait que le triangle *a-c-p'* répondant aux pans des croupes et les trapèzes *a e m a'*, *b e n b'* répondant aux longs pans.





TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME PREMIER.

	Pages
Avis concernant la nouvelle édition.....	V
Notice sur l'Exposition universelle de 1867 (section des bois).....	VII
Préface de la première édition.....	XXXVII
INTRODUCTION DE LA PREMIÈRE ÉDITION.....	I

CHAPITRE I^{er}.

OUTILS SERVANT AU TRAVAIL DU BOIS.

Outils servant au travail du bois.....	52
1. Outils servant à piquer et à tracer.....	Id.
2. — et instruments servant à déterminer les positions des lignes et des plans.....	31
3. — tranchants par percussion.....	37
4. — tranchants, à corroyer et planer le bois.....	45
De l'aiguisement des outils.....	55
Manière de couper le bois.....	58
5. Outils à percer.....	59
6. — à scier.....	63
Aiguisement des dents des scies.....	73
7. Outils à frapper.....	76

CHAPITRE II.

CONNAISSANCE DES BOIS.

1. Notions physiologiques.....	78
2. Reproduction des arbres.....	85
3. Maladies des arbres sur pied.....	89
4. Maladies et vices des bois abattus et des bois mis en œuvre.....	98
5. Qualités des bois propres aux travaux.....	108

CHAPITRE III.

EXPLOITATION, ÉQUARRISSEMENT ET DÉBIT DES BOIS DE CHARPENTE.

	Pages.
1. Exploitation.....	111
2. Époque de l'abatage des arbres.....	116
3. Équarrissement des bois.....	119
4. — à la cognée.....	124
5. — à la scie et sciage de long.....	137
6. Scieries à lames droites.....	147
7. Scies circulaires.....	148
8. Aplatissement des bois sciés.....	150
9. Choix du mode d'équarrissement.....	152
10. Fente des bois.....	156
11. Débit des bois.....	157
12. Débit du bois perpendiculairement à son fil.....	165

CHAPITRE IV.

TRANSPORT DES BOIS.

Transport des bois.....	168
1. Extraction de la forêt.....	Id.
2. Transport par eau.....	173
3. — sur voitures.....	176
4. — dans les chantiers de travail.....	183

CHAPITRE V.

DE LA COURBURE DES BOIS.

De la courbure des bois.....	189
1. Courbure des arbres sur pied.....	Id.
2. Amollissement des bois débités.....	191
3. Courbure au feu nu.....	193
4. Amollissement dans l'eau bouillante.....	194
5. — à la vapeur.....	195
6. — dans le sable.....	196
7. — à la vapeur sous une haute pression.....	197
8. Courbures sur des formes ou moules.....	Id.

CHAPITRE VI.

DE LA CONSERVATION DES BOIS.

1. Emmagasinement et empilement.....	204
2. Immersion, dessèchement et condensation.....	200

	Pages.
3. Peintures et enduits.....	213
4. Préservatifs contre les animaux destructeurs des bois mis en œuvre.....	217
5. Précautions contre la combustibilité.....	219

CHAPITRE VII.

DES BOIS PROPRES AUX CONSTRUCTIONS EN CHARPENTE.

Des bois propres aux travaux en charpente.....	221
--	-----

I. Bois durs.

1. Du chêne.....	227
2. Du châtaignier.....	230
3. De l'orme.....	232
4. Du noyer.....	233
5. Du hêtre.....	Id.
6. Du frêne.....	234

II. Bois résineux.

7. Du pin.....	235
8. Du sapin.....	237
9. Du mélèse.....	238
10. Du cèdre du Liban.....	239
11. Du cyprès.....	242
12. De l'if.....	243

III. Bois blancs ou mous.

13. Du peuplier.....	244
14. Du tremble.....	246
15. De l'aulne.....	Id.
16. Du bouleau.....	247
17. Du charme.....	248
18. De l'érable.....	Id.
19. Du tilleul.....	249
20. Du platane.....	Id.
21. Du saule.....	250
22. De l'acacia.....	251
23. Du laurier.....	252
24. Du marronnier d'Inde.....	Id.

IV. Bois fins.

25. Du sorbier.....	252
26. Du poirier.....	253
27. Du pommier.....	254
28. De l'alisier.....	Id.
29. Du nêlier.....	255

	Pages
30. Du merisier	Id.
31. Du prunier	Id.
32. Du cornouiller	256
33. De l'arbousier	Id.
34. Du buis	Id.

CHAPITRE VIII.

ASSEMBLAGES.

Assemblages	258
1. Assemblage à tenon et mortaise	261
2. — à queues d'hironde	273
3. — d'angle	275
4. Entures horizontales	277
5. — verticales	281
6. — de pièces de bois minces	284
7. — usitées dans la charpenterie navale	Id.
8. Assemblages de pièces de bois croisées	286
9. — russes et suisses	289
10. — longitudinaux de grosses pièces	292
11. — des planches et des madriers	294
12. — à entures usitées dans la charpente navale	Id.
13. Moises	296
14. Assemblages des pièces courbes	298
15. — vicieux	300

CHAPITRE IX.

EXÉCUTION DES OUVRAGES EN CHARPENTE.

1. Dessins	303
2. Sommaire du procédé d'exécution	306
3. Application à une charpente donnée	307
4. Ételon	309
5. Établissement des bois	310
6. Trait rameneret	312
7. Marques des bois	313
8. Lignes de milieu et traits carrés sur les bois	314
9. Établissement de dévers	316
10. — de niveau	320
11. Mises sur lignes de l'ételon	321
12. Piqué des bois carrés	323
13. Reconnaissance des piqûres	326
14. Tracé des assemblages	327
15. Coupe des assemblages	329

	Pages.
16. Piqué des bois débillardés	333
17. De la polène	335
18. Piqué des bois entés	336
19. — et coupe des pièces courbes	337

CHAPITRE X.

PANS DE BOIS

Pans de bois	341
1. Pans de bois extérieurs	342
2. — intérieurs	353
3. Cloisons légères	357
4. Observations sur les pans de bois	359
5. Grosseurs des pièces employées dans les pans des bois	363

CHAPITRE XI.

PLANCHERS.

Planchers	365
1. Aires des planchers	366
2. Charpentes des planchers	376
3. Enchevêtrures pour cheminées	381
4. Ouvertures pratiquées dans les planchers	386
5. Planchers à la Serbie	387
6. — à compartiments	392
7. — polygonaux	394
8. — à enrayures	398
9. — portés par des soutiens isolés	399
10. Poutres armées de fourrures superposées	401
11. — — latérales	406
12. — d'assemblages	407
13. Fermes pour remplacer les poutres	409
14. Planchers en solives jointives	411
15. — sans solives	412
16. — avec pendentifs	413
17. Scellement des bois dans les murs	Id.
18. Soffites	418
19. Grosseurs des bois	421

CHAPITRE XII.

COUVERTURES.

Couvertures	423
-----------------------	-----

I. *Couvertures en matières végétales.*

	Pages.
1. Couvertures en chaume.....	424
2. — en jonc et en roseaux.....	426
3. — en bardeaux.....	Id.
4. — en planches.....	428
5. — en toiles.....	429

II. *Couvertures en pierres factices.*

1. { Couvertures en tuiles.....	430
{ Tableau des tuiles principales employées en France.....	441
2. Couvertures en carton.....	445
3. — en mastic bitumineux.....	Id.

III. *Couvertures en pierres naturelles.*

1. { Couvertures en ardoises.....	446
{ Tableau des ardoises d'Angers.....	448
2. Couvertures en pierres plates.....	452
3. — en terrasses.....	453

IV. *Couvertures en matières métalliques.*

1. Couvertures en tuiles de fer coulé.....	454
2. — en métaux laminés.....	455

CHAPITRE XIII.

COMBLES.

1. Pentés des toits.....	465
2. Toits à deux égouts.....	473
3. Combles en pavillons, croupes et noues.....	474
4. Compositions des fermes employées dans les combles des deux égouts.....	477
5. Toits en pente douce.....	486
6. Combles brisés.....	488
7. Toits en impériales.....	493
8. — cylindriques.....	495
9. — en appentis.....	496
10. Arêtiers et noues.....	497
11. Pavillon à cinq épis.....	502
12. Équarrissages des bois employés dans les combles.....	505

CHAPITRE XIV.

ÉPURES.

Épures.....	506
1. Groupe droite et empanons droits.....	508
2. — biaise sur ferme biaise et empanons délardés.....	526
3. — biaise sur ferme droite et empanons déversés.....	536
4. — biaise, empanons droits.....	541

	Pages
5. Noue droite et empanons droits	541
6. — braise, empanon délardé et empanon déversé	546
7. Arêtiers et noues dont les faces d'assemblages sont perpendiculaires au toit.	549
8. Pannes et tasseaux sur arêtier	551
9. — — — noue	560

CHAPITRE XV.

EXÉCUTION DE LA CHARPENTE D'UN COMBLE.

Exécution de la charpente d'un comble	566
1. Ételons des enrayures	Id.
2. Établissement d'une enrayure sur l'ételon	568
3. Ételons des fermes	569
4. Établissement des fermes sur leurs ételons	572
5. Herse	573
6. Établissement des pannes, des chevrons et des empanons en herse	578



FIN DE LA TABLE DU TOME PREMIER.

TRAITÉ DE L'ART DE LA CHARPENTERIE

Par **A.-R. ÉMY**

COLONEL DU GÉNIE EN RETRAITE

OFFICIER DE L'ORDRE ROYAL DE LA LÉGIION D'HONNEUR
PROFESSEUR DE FORTIFICATION A L'ÉCOLE ROYALE MILITAIRE DE SAINT-CYR
MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES BELLES-LETTRES, SCIENCES ET ARTS DE LA ROCHELLE
DE LA SOCIÉTÉ ROYALE D'AGRICULTURE ET DES ARTS DU DÉPARTEMENT DE SEINE-ET-OISE
DE L'INSTITUT HISTORIQUE, ETC.



NOUVELLE ÉDITION, REVUE AVEC SOIN

SUIVIE

D'ÉLÉMENTS DE CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

ET PRÉCÉDÉE D'UNE

NOTICE SUR L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867 (SECTION DES BOIS)

PAR

L.-A. BARRE

Ingénieur civil, ancien élève de l'École impériale et centrale des arts et manufactures
Professeur à l'Association polytechnique

TOME DEUXIÈME

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

SUCCESSION DE VICTOR DALMONT

Précédemment Carillan-Gœury et Victor Dalmont

Libraire des corps impériaux des Ponts et Chaussées et des Mines

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

Droits de traduction et de reproduction réservés





PRÉFACE DE LA PREMIÈRE ÉDITION

(ANNÉE 1844).

Les sept premiers chapitre de ce second volume sont relatif aux formes que l'on donne ordinairement aux combles à surfaces courbes, à l'étude de leurs rencontres mutuelles ou pénétrations et aux pièces de trait de charpente qui entrent accessoirement dans leur composition.

J'ai indiqué les opérations d'épure propres à guider dans la disposition et le tracé des ételons: j'ai décrit les opérations qui regardent l'exécution, mais je ne les ai pas toutes traitées avec des développements aussi longs que ceux que j'ai donnés pour les combles à surfaces planes, vu qu'il aurait fallu étendre le texte fort au-delà des limites qui m'étaient imposées, et le plus souvent j'aurais répété, sans utilité, des détails que j'ai exposés dans les derniers chapitres du tome I^r.

Jusqu'ici le problème de la distribution régulière des caissons dans les coupoles et autres voûtes en charpente, et même dans celles en maçonnerie, n'avait été résolu que par approximation ou par le moyen d'opérations trop laborieuses pour être habituellement employées (1).

La nouvelle solution que j'en donne est rigoureuse et beaucoup plus simple même que celle qui ne donne qu'un résultat approximatif.

J'ai compris dans ces chapitres diverses pièces de traits de charpenterie, telles que les trompes et voussures, les croix de Saint-André, dans les surfaces courbes, etc., qui ne se trouvent décrites dans aucun autre traité.

Dans les cinq chapitres suivants, j'ai complété, autant qu'il m'a été possible, la description que j'avais commencée dans le chapitre XII, par celle d'une suite de combles exécutés et remarquables, soit par leurs grandes portées, soit par les systèmes de combinaison des bois qui entrent dans leurs compositions. C'est ainsi que.

(1) Les caissons des voûtes en maçonnerie sont des imitations de ceux résultant de la combinaison des bois dans la construction des voûtes en charpente, et que l'on a utilisés pour la décoration intérieure de ces voûtes

j'ai rapproché, pour qu'on puisse les comparer, les combles antiques des combles modernes, ceux des basiliques, des théâtres et de divers grands édifices, ceux du moyen-âge, et parmi ceux-ci j'en ai décrit qui sont peu connus, notamment ceux d'édifices anglais qui n'avaient pas encore été exactement dessinés dans aucun ouvrage français.

J'ai compris dans ce travail, qui présente pour ainsi dire une esquisse du progrès et des variations de l'art, les systèmes dans lesquels des cintres se trouvent combinés, tels que le système de Philibert de Lorme, en planches de champ, celui de M. La caze, en petits bois carrés, et le mien, en madriers courbés sur leur plat, que j'ai déjà publié en 1828 (1).

Ces rapprochements que j'ai faits, au surplus, sans aucune préention plus élevée que celle d'exposer ce que l'art que j'ai entrepris de décrire a produit, m'ont paru d'autant plus utiles que les archéologues et les antiquaires qui se sont tant occupés des monuments et ouvrages en maçonnerie, ont à peine jeté jusqu'ici un coup d'œil sur les œuvres de la charpenterie aux diverses époques où les arts ont fait des progrès ou subi des modifications.

Pendant que ce deuxième volume se préparait en manuscrit, de 1837 à 1841, un ouvrage intéressant a été donné au public; c'est le Mémoire de M. le capitaine du génie Ardant, intitulé : *Études théoriques et expérimentales sur les charpentes à grandes portées* (2), dont il sera question dans le dernier chapitre de ce deuxième volume.

J'ai consacré un chapitre aux dômes, clochers et beffrois, dans lequel j'ai rectifié les méthodes de Nicolas Fourneaux pour les dômes et les flèches tors.

(1) En outre des charpentes du hangar de Marac et du manège de Libourne, exécutées suivant ce système, plusieurs autres, suivant le même système, ont été construites sur des bâtiments dépendant des services militaires et de la marine, notamment à Saumur, Aire, Metz, Maubeuge, Limoges, Cherbourg, et sur plusieurs halles d'usines, tant à Paris que dans les départements, et généralement avec succès.

Je ne dois pas cacher que, dans deux localités qu'il est inutile d'indiquer, des charpentes, exécutées d'après ce nouveau système, ont manifesté des avaries immédiatement après leur achèvement; mais il faut dire qu'il a été reconnu que ceux qui les avaient construites n'avaient pas suivi les indications que j'ai données, et qu'ils s'en étaient même fort écartés, et qu'ainsi ces avaries sont dues à des fautes faites par les constructeurs, et non à des vices du système.

(2) 1 vol. in-4°, chez Lamort, à Metz, 1840.

L'emploi du fer dans les charpentes m'a paru assez important pour consacrer un chapitre à la description des différents moyens employés pour lier et consolider les assemblages par des ferrures (1).

J'ai complété cette spécialité de l'emploi du fer par un chapitre uniquement consacré aux charpentes dans lesquelles ce métal, le plus commun et le plus fort, est employé conjointement avec le bois comme partie constitutive des charpentes en bois. Cette combinaison du fer dans les charpentes n'avait pas encore été décrite, et j'ai réuni, dans ce chapitre, ce qui a été fait depuis les premières tentatives jusqu'à ce jour; j'y ai compris la description de mon nouveau système de charpente en bois et en fer, et une succincte description de l'heureuse application que M. Hittorff a faite à la charpenterie des moyens de suspension par des câbles en fil de fer (2).

(1) M. Brunel a proposé de réunir des pièces de bois par des clefs en fer noyées dans l'asphalte. On a employé dans le tunnel de Londres ce mastic pour sceller des plaques de fonte dans la charpente. (*Bull. de la Société d'encouragement*, septembre, 1840.)

(2) Depuis l'impression du chapitre XXXIV, j'ai eu connaissance d'un manège tout en charpente, construit dans la cour de la caserne de l'Orangerie, à Lunéville, par M. Schmitz jeune, entrepreneur, sous la direction de M. Duché, chef de bataillon du génie, et de M. Humbert, capitaine. Ce manège a 63^m,60 de longueur sur 24 de largeur, et 12^m,60 de hauteur totale. Les fermes de son comble ont quelque ressemblance avec celle représentée fig. 12, de ma planche CVI; mais leur aspect a plus de légèreté. Je me borne à en faire la description suivante :

La charpente de ce manège se compose de 22 fermes, celles des deux pignons comprises. Elles sont portées chacune sur deux poteaux arc-boutés par des contre-fiches. Ces poteaux forment le pourtour du manège. La hauteur du comble est égale au quart de sa portée. Chaque ferme est composée d'un tirant de deux arbalétriers avec sous-arbalétriers, sous le tiers de leur longueur; d'un poinçon, dont la hauteur est égale aux deux tiers de celle du comble; d'une moise-entrait, qui croise le poinçon dans le milieu de sa hauteur. Les sous-arbalétriers sont arc-boutés par des contre-fiches, qui ont leurs appuis sur le tirant. Cinq tringles verticales en fer soutiennent le tirant par les points de sa division en six parties égales : quatre de ces tringles s'attachent aux arbalétriers, et celle du milieu s'attache au poinçon. Les deux pièces d'une croix de Saint-André sont établies suivant les diagonales du rectangle formé par le tirant, la moise-entrait et deux tringles verticales. Le tirant et les arbalétriers sont posés de champ, leur épaisseur est de 0^m,25 à 0^m,30, celle des arbalétriers diminue en approchant du poinçon; les sous-arbalétriers, les contre-fiches et les pièces de la croix ont des équarrissages de moitié plus faibles. Les assemblages des arbalétriers et sous-arbalétriers sont reçus, à chaque bout inférieur, dans un sabot en fer. Les contre-fiches et les branches de la croix de Saint-André se réunissent dans deux boîtes suspendues par les tringles qui soutiennent le tirant. La queue du poinçon repose sur le centre de la croix de Saint-André.

Je crois qu'on aurait pu, sans inconvénient, supprimer la croix de Saint-André dans chaque ferme; elle charge le milieu de la charpente sans utilité.

L'application de mon système en bois et en fer, représenté sur ma planche CVIII, aurait exigé moins de bois et aurait eu une apparence plus légère encore.

La construction des escaliers est essentiellement du domaine de l'art de la charpenterie. J'ai fait à leur sujet ce que j'ai fait pour les combles : j'ai exposé la partie géométrico-graphique de l'art et ses procédés d'exécution pratique, et j'ai ensuite rapproché et succinctement décrit toutes les formes qui ont été, à ma connaissance, données aux escaliers, petits monuments intérieurs que les charpentiers les plus instruits regardent, avec raison, comme exigeant, dans leur composition et leur exécution, le plus d'habileté et d'adresse pour satisfaire en même temps aux besoins, à la commodité et à la grâce du développement de ces sortes de routes suspendues.

J'ai fait remarquer, dans l'introduction du tome I^{er}, que l'art de la charpenterie prête son secours pour bâtir des édifices nouveaux et pour prolonger l'existence des anciens; j'ai consacré un chapitre à la description de l'étalement des édifices, et un autre aux échafauds destinés aux réparations et aux travaux des bâtiments.

La construction des ponts en bois est aussi du domaine de la charpenterie. Jadis, lorsque le seul génie avait le privilège d'inventer et de créer de grands édifices, on a vu de simples et modestes charpentiers concevoir et construire des ponts qui sont encore, à juste titre, regardés comme des modèles et d'admirables chefs-d'œuvre. Aujourd'hui la science a étendu sa puissance sur les choses qui étaient, dans l'origine, abandonnées aux praticiens, et l'art de construire des ponts, quelle que soit la matière avec laquelle ils doivent être édifiés, forme une architecture spéciale. Mon ouvrage ne saurait consacrer à cette importante matière l'espace nécessaire pour la traiter à fond; je me borne, dans un seul chapitre, à la description des ponts en bois construits à diverses époques et suivant divers systèmes offrant des différences marquantes et utiles à comparer. Ils sont classés suivant l'ordre des combinaisons des pièces de bois qui les composent : je ne me suis attaché qu'à ce qui peut intéresser l'œuvre du charpentier. Un autre chapitre comprend les ponts mobiles, un autre encore a pour objet les ponts de cordes : j'ai décrit, dans ce dernier, les combinaisons qui ont été exécutées, principalement dans la vue de conserver aux charpentiers l'honneur de l'invention des ponts suspendus, dont les ponts en chaînes et en câbles de fer sont des imitations.

Les cintres pour construction d'arches et de voûtes sont des espèces d'échafauds que j'aurais pu comprendre dans le chapitre XXXVII; mais il m'a paru plus utile de placer le chapitre qui les comprend à la suite de celui relatif aux ponts, avec lesquels ils ont une grande ressemblance par l'effet de la combinaison de leurs bois.

Les constructions hydrauliques réclament souvent le secours de l'art et du travail du charpentier, soit dans les fondations des ouvrages en maçonnerie, soit dans des ouvrages entièrement en bois; j'ai réuni dans un chapitre ce qui m'a paru le plus utile à faire connaître aux ouvriers appelés à concourir de leur expérience et de leur habileté à l'exécution de ces sortes de travaux en bois.

Les développements que j'ai donnés au sujet de la charpenterie des habitations, m'ont paru suffisants pour me dispenser des mêmes développements à l'égard des ponts et des travaux hydrauliques, ce qui fait qu'à l'exception de quelques cas particuliers les descriptions de l'exécution de ces sortes de constructions sont d'autant plus succinctes que les dessins qui les représentent sont plus détaillés, ou qu'il est plus aisé de trouver des renseignements dans le premier volume ou dans les premiers chapitres de celui-ci.

Maintes circonstances fortuites et des entreprises d'un nouveau genre ont nécessité des travaux souterrains, soit pour ouvrir d'étroits sentiers sous terre, pour porter secours à des ouvriers ensevelis sous des éboulements, soit pour déblayer les emplacements de larges tunnels pour le passage des canaux et des chemins de fer: les charpentiers prêtent à ces travaux souterrains le secours du bois, qu'eux seuls savent employer; et pour la première fois les procédés des charpentiers-mineurs se trouvent exposés dans un *Traité de Charpenterie*.

Un seul chapitre, assez court, a rapport à la charpenterie de marine. Depuis que l'art de creuser un canot est devenu l'architecture navale, le charpentier n'intervient dans la construction d'un vaisseau que par l'action de ses outils; il n'est plus que la main qui exécute les formes conçues et prescrites par l'ingénieur constructeur.

La science de l'architecture navale réclamerait un traité d'une étendue plus grande que celle que je pourrais lui consacrer ici; et l'application de l'art de la charpenterie à l'édification d'un

vaisseau n'a besoin, dans les limites de mon ouvrage, que de notions succinctes et seulement sur ce qui regarde les principales combinaisons des bois et leur travail.

On peut s'étonner que la charpenterie des machines, qui en a créé de si utiles et de si ingénieuses, soit néanmoins restée longtemps fort en arrière en exécutant des engrenages très-imparfaits, en général, et particulièrement ceux ayant pour objet la transmission et la modification du mouvement de rotation entre des axes non parallèles, n'employant pour cette transmission que des roues et des lanternes cylindriques à dents et fuseaux parallèles.

Il paraît que la combinaison du mouvement dans le tracé des épures avait présenté des difficultés que l'état des pratiques de projection n'avait pas permis de vaincre : mais la géométrie descriptive, dès les débuts de ses applications aux arts, a porté la lumière dans cette partie de la charpenterie mécanique; elle a rectifié ce que les engrenages avaient de vicieux, et la théorie de la génération des surfaces a déterminé la forme des dents; elle a créé les engrenages d'angle pour la transmission des mouvements entre des axes qui se coupent.

En outre des formes épicycloïdales que l'on donne ordinairement aux dents des engrenages, entre axes parallèles et entre axes qui se coupent, j'ai décrit des engrenages entre les mêmes axes, au moyen de dents à bases développantes planes et de développantes sphériques du cercle, qui ne se trouvent pas, que je sache, dans aucun autre ouvrage (1).

J'ai consacré un chapitre aux nœuds de cordages. Je n'ai cependant point donné d'exemple de leur emploi dans les machines et les manœuvres que les charpentiers peuvent avoir à exécuter; cela aurait exigé de trop longues énumérations, et le besoin, dans chaque circonstance, ne peut manquer d'indiquer le nœud dont il convient de faire usage : il m'a paru suffisant de joindre à la représentation de chaque nœud, souvent sous deux projections, celles de ses formes à différents états de sa confection (2).

(1) La développante sphérique du cercle est une épicycloïde sphérique; mais, dans le cas dont il s'agit, elle a cela de particulier, que les dents qui en résultent n'ont point de flancs.

(2) L'emploi des câbles ronds sur les treuils ont de graves inconvénients, que j'ai signalés, lorsqu'il y a impossibilité de *choquer*, comme cela a lieu dans les grandes machines d'extraction des mines, où l'on est obligé d'enrouler les câbles plusieurs fois sur eux

Les mêmes motifs qui m'ont déterminé à donner, dans le chapitre I^r, la description de tous les outils dont les charpentiers se servent dans le travail du bois, m'ont décidé à faire connaître, dans le chapitre XLVIII, les machines dont ils font usage dans leurs travaux et autres opérations qui leurs sont confiées.

J'ai compris, dans le chapitre XLIX, quelques-uns des principaux procédés mis en œuvre pour mouvoir des objets d'une grande pesanteur, et j'ai choisi pour exemples les opérations exécutées pour les mouvements des fardeaux les plus remarquables.

Accidentellement et en dehors des travaux de construction que les charpentiers exécutent le plus ordinairement, ils sont parfois chargés de fabriquer différents objets fixes ou mobiles, en bois assez fort pour n'être point du ressort des menuisiers. Le chapitre L est relatif à ces constructions accessoires; j'y donne la description de quelques-uns seulement de ces objets trop nombreux pour les faire connaître tous. Je crois, au surplus, qu'il n'en est aucun autre pour l'exécution duquel un ouvrier intelligent ne puisse trouver dans mes planches des exemples de combinaisons et d'assemblages suffisants pour le guider dans sa construction.

La partie pour ainsi dire financière et contentieuse du métier de charpentier n'avait point été exposée dans les traités de l'art; c'est celle qui prescrit les règles et les conditions de l'exécution des travaux, leur valeur et leur paiement. J'ai compris tout ce qui se rapporte à l'intérêt du charpentier dans le chapitre LII.

L'application du calcul à la solidité des ouvrages de charpenterie n'est pas moins importante pour ces ouvrages que pour ceux des autres genres de constructions: je lui ai consacré le dernier chapitre; j'y ai compris tout ce que l'on sait sur les différents modes de résistance des bois, et j'ai indiqué l'usage qu'on peut faire des résultats des nombreuses et cependant insuffisantes expériences qui ont été faites; mais les savants ingénieurs et archi-

mènes. On a inventé des câbles plats comme des sangles, composés de plusieurs petits cordages réunis les uns à côté des autres, et qui ont moins d'inconvénients que les câbles ronds, mais qui n'en sont pas complètement exempts. Depuis l'impression du chapitre XLVII, j'ai appris que M. Davenies, ingénieur et directeur du charbonnage des Ardennes, près Charleroi, vient de remplacer les câbles plats par des rubans de fer, dits *feuillards*, dont plusieurs tours peuvent, sans nul inconvénient, s'enrouler sur les bobines des machines d'extraction. Ces rubans de fer, garantis de la rouille, coûtent quinze fois moins que les câbles plats de chanvre ou d'aloës; ils sont plus forts, pèsent beaucoup moins dans les machines, et sont plus durables.

tectes ne doivent pas s'attendre à trouver ici un traité scientifique sur la résistance des solides en bois. Quoique mon ouvrage puisse leur être parfois utile, ce n'est point pour eux ni pour aborder les grandes théories que ce dernier chapitre est fait; ils n'ont pas besoin d'enseignements de cette nature, je ne l'ai écrit que pour les constructeurs praticiens et les ouvriers auxquels divers calculs ne sont point familiers; j'ai fait en sorte de ne leur indiquer que des moyens faciles de pourvoir à la solidité de leurs travaux, et ces moyens, pour n'être pas aussi brillants que des théories plus élevées, ne leur sont pas moins utiles, ni moins certains dans leurs résultats.

J'ai fait connaître au tome I^{er}, quelles tentatives avaient été faite dès 1784 pour la conservation du bois dans les constructions; j'ai indiqué dans le chapitre VI deux procédés, l'un de M. Bréant, annoncé en 1831, l'autre de M. Kyan, publié en 1835.

Le premier, dont M. Bréant n'avait fait connaître que les résultats, consiste dans l'imprégnation des bois par une solution de sulfate de fer, au moyen d'une forte pression opérée par une pompe sur le liquide renfermé avec la pièce de bois dans un grand cylindre de fer parfaitement clos. Il a été rendu compte à la Société d'encouragement, au sujet de ce procédé, des bons résultats d'une expérience de plusieurs années. Le procédé de M. Bréant est si puissant que des liquides huileux et même résineux pénètrent jusque dans les cellules végétales. On regarde comme probable que les parties excessivement serrées des nœuds et du cœur de certains bois qui résistent à cette imbibition, ne seraient atteintes par aucune cause de détérioration.

La plus importante condition à laquelle devait satisfaire le procédé de M. Bréant était de rendre les pièces capables de résister dans les circonstances où le même bois à son état naturel ne résisterait pas; une expérience décisive vient d'être faite, et ses résultats ont été régulièrement constatés. Des planches de sapin de 6 centimètres d'épaisseur, les unes imprégnées d'huile de lin par le procédé de M. Bréant, les autres à l'état naturel, ont été posées simultanément en 1834, et dans des conditions égales sur le plancher du pont Louis-Philippe à Paris; les parties exécutées en bois à l'état naturel ont été reconnues tellement détériorées par la pourriture qu'on a dû les refaire à neuf; et quant à celles faites

en bois imprégné d'huile, les planches sont si dures, si sonores et si bien conservées, qu'elles paraissent dans le même état qu'au moment où on les a posées six ans auparavant.

Quant aux bois kyanisés, rien, jusqu'ici, n'infirmes les bons résultats dont j'ai parlé tome I^r.

Mais il paraît que des essais, qui ont été faits en imprégnant les bois d'autres substances nuisibles aux vers et aux mollusques marins, n'ont point réussi. M. Harley a fait connaître, à la réunion des ingénieurs de Londres, que des planches cyanisées (probablement imprégnées, par immersion, de quelque cyanure) qui avaient été employées aux écluses des docks du bassin de Clarens, n'ont pu résister aux tarêts marins, et qu'elles ont été rongées et détruites en moins de quatorze mois.

Mais une conquête d'une haute importance, pour la conservation du bois, vient d'être tout récemment faite : c'est l'imprégnation des arbres sur pied, ou conservant encore des restes de leurs facultés vitales.

Un rapport a été fait à l'Académie des sciences, le 30 novembre 1840, par une commission qu'elle avait chargée d'examiner le procédé dont il s'agit. La commission était composée de MM. Arago, de Mirbel, Poncelet, Gambey, Audouin, Boussingault, et de M. Dumas, rapporteur. Il résulte de ce rapport que M. le docteur Boucherie, de Bordeaux, s'était proposé de rendre le bois beaucoup plus durable que dans l'état naturel, de lui conserver son élasticité, de le préserver des variations de volume qu'il éprouve par les altérations de sécheresse et d'humidité, de diminuer sa combustibilité, d'augmenter sa ténacité, sa dureté, enfin, de lui donner des odeurs variées et durables.

Toutes ces exigences ont été satisfaites par des moyens simples et peu coûteux, et à peu près nouveaux, à l'aide de substances à vil prix.

Pour faire pénétrer dans un arbre tout entier les substances préservatrices colorantes ou odorantes, M. Boucherie n'a eu recours à aucun moyen mécanique, compliqué ou coûteux, la force aspiratrice du végétal lui-même suffit pour porter de la base du tronc jusqu'aux feuilles toutes les liqueurs que l'on veut introduire, pourvu qu'elles ne dépassent point certaines limites de concentration.

Ainsi, que l'on coupe un arbre en pleine sève et que l'on plonge

son pied dans une cuve contenant la liqueur que l'on veut lui faire aspirer, en peu de jour elle montera jusqu'aux feuilles. Tout le tissu végétal sera envahi, sauf celui du cœur qui, dans les essences dures et pour les sujets âgés, résiste toujours à la pénétration.

Il n'est pas nécessaire que l'arbre soit garni de toutes ses branches et de toutes ses feuilles; un bouquet réservé au sommet suffit pour déterminer l'aspiration.

Une cavité creusée au pied de l'arbre ou un trait de scie autour du pied suffisent pour que, en mettant la partie entamée en contact avec le liquide, il y ait absorption rapide et complète.

Il est même inutile que l'arbre soit debout, on peut l'abattre et après avoir élagué les branches inutiles, sa base étant en contact avec le liquide à absorber, celui-ci y pénètre également dans toutes ses parties.

Si M. Boucherie a su résoudre d'une manière simple et pratique le grand problème qu'il s'était proposé d'abord, il n'a pas fait preuve d'une moindre sagacité dans le choix des substances qu'il a adoptées pour remplir les conditions énoncées plus haut.

Pour augmenter la durée et la dureté du bois et s'opposer à sa carie sèche et humide, M. Boucherie fait arriver dans ses pores du pyrolignite de fer. Cette substance est parfaitement choisie, parce qu'elle est le produit de l'acide pyroligneux de la fabrication du charbon dans les forêts, et qu'il est facile de la transformer en pyrolignite de fer, en la mettant en contact, même à froid, avec de la ferraille. Ce liquide contient beaucoup de créosote, substance qui a la propriété de durcir le bois et de le garantir de la pourriture; résultat bien important pour les constructions. Des expériences authentiques, faites dans les landes de Bordeaux, ont constaté que des cercles en bois, imprégnés par le procédé de M. Boucherie, étaient aussi intacts que les premiers jours, tandis que d'autres cercles faits en bois sans préparation tombaient de pourriture au moindre effort, quoique mis en expérience dans le même moment et dans les mêmes circonstances que les cercles en bois préparés par M. Boucherie.

L'emploi d'un chlorure terreux est le moyen, à très-bon marché, de s'opposer aux variations hygrométriques, tout en conservant au bois sa souplesse. M. Boucherie ne s'est pas contenté du *chlorure de calcium*, il a trouvé que l'eau des marais salants avait, pour le même objet, toutes les qualités désirables.

Les bois préparés avec les dissolutions salines conservent leur flexibilité. En feuilles minces ils peuvent être tordus et retordus en sens inverse sans se gercer; enfin, ils ne brûlent que très-difficilement. M. Boucherie colore le bois par son procédé en nuances variées; le pyrolignite de fer donne une teinte brune qui se marie bien avec la teinte naturelle des parties trop serrées qu'il n'a pas complètement pénétrées. En faisant succéder au pyrolignite l'absorption d'une matière tannante, on produit le noir de l'encre dans la masse du bois; en faisant absorber du prussiate de potasse, le bois devient veiné de bleu; en introduisant successivement de l'acétate de plomb et du chromate de potasse, il se forme des teintes jaunes; en faisant pénétrer simultanément ces différentes substances, on produit dans le bois les veines les plus variées.

Nous n'avons rien à dire de l'imprégnation pour rendre les bois odorants; nous avons déjà, en parlant de leur coloration, passé le but de l'application qui peut être faite du procédé de M. Boucherie à la charpenterie.

M. Millet d'Aubenton, employé des eaux et forêts, a plusieurs fois revendiqué la priorité de cette invention; l'Académie l'a conservée à M. Boucherie, qui a été fait chevalier de la Légion d'honneur par ordonnance du Roi du 16 janvier 1841.

Afin de soustraire l'introduction du liquide dans les pores du bois aux variations de l'état de la végétation, M. Boucherie a essayé d'introduire la liqueur conservatrice par le haut de la tige d'un arbre coupé, en enveloppant la sommité par une sorte d'entonnoir; le liquide traverse les pores du bois, après avoir déplacé la sève, qui s'écoule par le bas. M. Biot avait, dès 1832, fait avec un égal succès des expériences de la même espèce, mais qu'il avait abandonnées. M. Gaudichaud a fait voir que les expériences de M. Boucherie confirment la théorie de l'organisation des végétaux dont ses travaux ont donné des démonstrations, et desquelles il résulte qu'il existe deux systèmes de développement végétal: l'un ascendant au moyen des fibres ligneuses s'élevant de la racine au sommet de la plante, l'autre descendant, provenant des bourgeons et des feuilles d'où partent une multitude de fibrilles qui s'étendent jusqu'aux parties inférieures de la tige. Cette structure du bois fait concevoir comment les liquides peuvent filtrer en deux sens au travers de sa substance.

M. Gaudichaud, pour prouver sa théorie, est parvenu à insi-

nuer des liquides et même des cheveux dans les tubes ascendants et à les faire revenir par lès canaux descendants.

L'art de la conservation du bois pour les constructions se trouve aujourd'hui aussi complet qu'on peut le désirer; les procédés de M. Boucherie profitant et utilisant la force aspiratrice des arbres sur pied ou fraîchement abattus, celui de M. Bréant s'applique aux bois depuis longtemps exploités, équarris, secs et façonnés auquel l'autre procédé ne peut convenir.

ÉMY (1841)

Nous croyons devoir ajouter que, jusqu'à présent, on a fait seulement des préparations propres à conserver les bois employés comme traverses pour chemins de fer et ceux destinés à la mer, parce que les procédés de conservation sont dispendieux, et aussi parce que les bois de charpente ne se laissent pas injecter par les substances préservatrices, notamment les bois durs et le cœur de chêne.

En France, on emploie presque exclusivement le sulfate de cuivre pour injecter les bois, mais il a l'inconvénient de renfermer un excès de sel métallique qui, en contact avec l'air ou le sol humide, agit sur les crampons, plaques et pièces de fer pour les détériorer promptement. En même temps la fibre végétale du bois se corrode et les appendices en fer ne tiennent plus. En Angleterre on préfère la créosote, qui préserve le bois de la vermoulure, et qui, d'après un grand nombre d'expériences rapportées par M. Forestier, ingénieur, paraît préserver les bois de l'action des tarêts, ou tout au moins en diminue extrêmement les ravages: mais il est nécessaire que le bois ait absorbé environ 300 kilog. de créosote par mètre cube, ce qui rend l'application assez coûteuse. Cependant, pour les travaux à la mer, on peut renoncer à l'emploi du chêne qui devient de plus en plus rare, et qui n'absorbe pas la créosote, et lui substituer des bois blancs créosotés, qui, sans coûter plus cher, auraient l'avantage de durer beaucoup plus longtemps que les bois durs non préparés. Un fait important: le créosotage ne diminue pas la résistance du bois et semble même augmenter l'adhérence des fibres.

TRAITÉ

DE L'ART

DE LA CHARPENTERIE

CHAPITRE XVI.

COMBLES A SURFACES COURBES.

I.

COMBLES CYLINDRIQUES EXTÉRIEUREMENT.

§ 1. *Croupes.*

Diverses circonstances déterminent l'emploi des formes courbes pour les combles, soit à l'extérieur, soit à l'intérieur, et souvent pour l'un et l'autre à la fois.

Les formes courbes les plus simples sont celles cylindriques, qui sont nécessairement appliquées à des bâtiments dont les plans sont terminés par des périmètres composés de lignes droites. Ces bâtiments forment ordinairement des corps de logis principaux, auxquels se rattachent des bâtiments en ailes, absolument dans les mêmes cas que nous avons traités pour les combles formés des plans.

Il résulte de la combinaison des combles à surface cylindriques, des arêtiers et des noues qu'on traite de la même manière que ceux des combles plans. Il a néanmoins paru indispensable de présenter aux charpentiers des exemples de ces sortes de combinaisons.

La planche LX a pour objet de présenter l'épure d'un arêtier et d'une noue résultant de la rencontre de deux combles dont les surfaces de toiture sont cylindriques.

A B D E, fig. 1, est la projection horizontale de la ligne d'about de deux combles cylindriques extérieurement; nous prenons ici la ligne d'about extérieure, parce que c'est la surface cylindrique extérieure qui est la principale donnée de l'épure.

Le pan de comble cylindrique, qui a pour ligne d'about $A B$, et le pan également cylindrique, qui a pour ligne d'about $B D$, donnent lieu, par leur rencontre, à la ligne de noue projetée en $B P$.

Le comble cylindrique dont un pan a pour ligne d'about les lignes $B D$, est terminée par une *croupe*, également cylindrique, dont la ligne d'about, pour la moitié de l'étendue de cette croupe, est $D E$. Cette croupe donne lieu à deux arêtiers dont un est projeté sur la ligne $D C$.

Nous supposons ici que les deux corps de bâtiments qui se rencontrent, ont une même largeur, et que la demi-ferme de croupe est égale à la moitié d'une ferme des longs pans; la projection verticale d'une ferme est couchée sur le plan en $a b c$, en supposant qu'on l'a fait tourner autour de la ligne horizontale qui représente la face supérieure de son tirant, qu'on a d'ailleurs établie dans la place propre à éviter toute confusion dans l'épure. Nous avons en cela suivi l'usage des charpentiers, d'où il résulte économie d'espace pour les diverses parties de l'épure, et plus de précision pour les opérations, parce que les lignes de construction entre les différentes parties de l'épure sont moins longues.

Cette ferme n'est représentée que par une partie qui comprend le poinçon tout entier.

Nous avons déjà donné, fig. 11, pl. XLIII, une ferme pour comble du même genre. La ferme que nous donnons ici est de même forme, mais elle est plus simple, vu qu'il ne s'agit maintenant que de l'étude des procédés d'épure, tandis que dans la figure 11 de la planche XLIII nous avons pour but de faire connaître un détail de construction.

Vu que nous avons supposé que la ferme de croupe a la même courbure que celle du long pan, et que sa portée est égale à la demi-portée des fermes des longs pans, il n'y a point lieu à dévoyer l'arêtier résultant de la rencontre des deux surfaces cylindriques, l'une de long pan, l'autre de croupe, et le poinçon n'est pas dévoyé. On pourrait donner plus de roideur dans la courbure de la croupe, comme on l'a fait pour la croupe d'un comble à surface plane; mais quoique l'augmentation de roideur des pans de croupe dans les combles à surfaces planes, ne produise pas un effet désagréable, on ne suit point le même usage dans les combles cylindriques, parce que la forme surhaussée de courbure de la croupe, qui en résulterait, n'est point gracieuse.

Parallèlement aux lignes d'about AB , BD , DE , nous avons marqué les lignes 1-2, 2-3, 3-4, qui limitent la largeur des pas des chevrons et des empanons.

D'autres lignes parallèles marquent extérieurement et intérieurement la largeur des sablières qui reçoivent ces chevrons et empanons. Les sa-

blières qui reposent sur les murs sont assemblées à tenons et embovtements dans les coyers d'arêtier et de noue.

La ferme arêtrière, projetée horizontalement de D en C , fig. 1, comprend, comme dans les arêtiers entre combles plans, l'arête qui est l'intersection des deux pans cylindriques.

La projection verticale de cette ferme est reportée à gauche, fig. 2, et couchée sur le même plan de l'épure; la ligne DC du plan, fig. 1, est établie en $d'c'$, fig. 2, sur le prolongement de la ligne ac .

L'intersection des deux surfaces cylindriques égales, à bases circulaires, dont les axes se coupent, est une ellipse dont le plan est perpendiculaire au plan des axes des deux surfaces cylindriques.

Dans le cas qui nous occupe, le long pan de toit cylindrique et le pan de croupe cylindrique qui lui est égal, se coupent dans le plan vertical qui a pour trace horizontale la ligne DC , fig. 1. Cette ellipse a pour grand axe l'horizontale DC et pour petit axe la verticale cb ; il est donc fort aisé de la construire, en faisant $d'c'$ et $c'b'$, fig. 2, égales aux lignes DC et cb de la fig. 1, et en usant de l'un des procédés que la géométrie enseigne pour tracer cette ellipse (1).

Je préfère ces procédés à celui qui est cependant usité, qui consiste à tracer l'ellipse par points résultants des intersections des lignes que l'on

(1) Nous allons rappeler ici ces deux procédés :

I^{er}. Soit, fig. 9, $AC A'$, le grand axe d'une ellipse, $ac a'$ son petit axe. Ayant décrit deux cercles avec les demi-axes AC , ac , si l'on trace un rayon quelconque CD qui coupe les circonférences en D et d , et que, par le point D on trace une verticale pD , et par le point d une horizontale qd , le point M de rencontre de ces deux lignes appartient à l'ellipse, qui a pour demi-axe les lignes AC ac .

II^o. Soit encore fig. 10, AC et ac les deux demi-axes. Si sur une ligne quelconque MR on fait $MP = AC$, $MQ = ac$, et que cette ligne se meuve de façon que ses points P et Q ne quittent pas les axes, le point M tracera l'ellipse dont AC , ac sont les demi-axes.

Dans la pratique, on représente la ligne MPQ par le bord d'une bande de fort papier ou d'une règle, sur lequel on fait des coches dont les angles représentent les points P , Q , et en mouvant cette bande de papier ou cette règle de façon que les points P et Q ne quittent point les lignes des axes, on marque chaque position du point M , et l'on a ainsi autant de points appartenant à l'ellipse.

C'est sur ce principe qu'est construit l'instrument composé de deux coulisses à angle droit, dans lesquelles glissent deux curseurs qu'on fixe à une règle dont l'extrémité, garnie d'un crayon, trace une ellipse.

On peut substituer à cet instrument, deux règles, fig. 8, pl. LX, maintenues à angle droit sur l'éclon par des clous, et une troisième règle mobile à laquelle on a fixé, à des places convenables, deux cylindres égaux P et Q dont on maintient, avec les mains, le contact contre les règles fixes, tandis qu'un crayon M , établi à l'extrémité de la règle mobile, trace l'ellipse.

projette sur l'épure, par la raison que ces points sont directement construits par les propriétés de l'ellipse, sont déterminés plus exactement que par les intersections de lignes projetées, souvent trop longues, qui ne se rencontrent point à angle droit et qui ne peuvent pas toujours être tracées avec l'exactitude nécessaire à la régularité de la courbe; néanmoins, pour ne point omettre cette méthode, quoiqu'elle ne me paraisse devoir être employée que faute d'une autre dont les résultats seraient plus rigoureux, ou lorsqu'on ne connaît pas la nature de la courbe qu'on doit construire, et que ses propriétés géométriques ne fournissent pas de moyens commodes à mettre en pratique, nous supposons qu'il s'agisse de construire le point de l'ellipse qui répond au point Q de la projection horizontale. Ce point appartient à la génératrice de la surface cylindrique du long pan répondant au point M de la ferme. Cette génératrice est projetée horizontalement suivant la ligne PQ , et ce point Q est celui où elle rencontre le plan vertical contenant l'arêtier. C'est dans ce même point que la génératrice, à même hauteur dans la surface cylindrique de croupe, rencontre aussi le plan vertical de l'arêtier. Pour construire le point de l'ellipse de l'arêtier sur son grand axe, $c'd$, fig. 2, soit pris $c'q$ égal à CQ de la fig. 1, et soit fait qm , fig. 2, égale à $Q'M$, le point m sera un point de l'ellipse, et l'on en construira autant de cette manière qu'on le jugera convenable.

On voit que l'exactitude de la détermination de ce point dépend de l'exactitude qu'on a mise dans l'établissement de l'épure, et de l'exactitude avec laquelle les longueurs des lignes CQ et $Q'M$ sont transposées en $c'q$ et qm . Au surplus, on peut employer ces différentes méthodes et les faire servir de vérification les unes aux autres.

Les projections du coyer, de la jambe de force, de l'entrait et de l'arbalétrier sur le plan de l'arêtier ne présentent aucune difficulté, et se traitent de la même manière que nous les avons traitées pour les croupes des combles plans, et l'on doit remarquer que, dans le cas qui nous occupe, comme la surface extérieure est l'objet principal de la construction, on ne délarde point les jambes de force ni les arbalétriers, sinon aux places indispensables pour les passages des pannes et l'établissement des tasseaux qui doivent les supporter.

L'arêtier elliptique doit être tracé en entier sur l'épure et même sur l'ételon, afin que les courbes de ses différentes arêtes puissent être rapportées sur la pièce de bois qui doit le fournir.

Dans les grandes charpentes, le développement d'une arête devant avoir une assez grande étendue, il est presque toujours impossible de la faire d'une seule pièce de bois, à moins qu'on n'en ait une convenablement

courbée naturellement, ou qu'on l'ait courbée au gabarit voulu par les procédés dont nous avons parlé précédemment au chapitre V, tome 1.

Lorsqu'un arbalétrier doit être composé de l'assemblage bout à bout de plusieurs pièces droites, les assemblages sont faits à traits de Jupiter; on les établit entre les abouts des pannes, de façon qu'ils ne soient mutilés par la rencontre d'aucun autre assemblage, et les pièces ainsi assemblées forment une sorte de polygone capable de l'arêtier courbe qu'on doit en tirer.

L'égalité de la courbure de la surface de croupe et de longs pans, ne donnant plus lieu de dévoyer l'arêtier ni le poinçon, ce dernier est projeté horizontalement suivant le carré 5-6-7-8, les lignes $u-11$, $w-12$, comprennent l'épaisseur de l'arêtier et sont les traces horizontales de ses faces verticales. Le pas de l'arêtier est dans ce cas le pentagone $D-u$, 9-10- w ; tandis que le pas de la jambe de force sur le coyer est le rectangle 13-14-15-16.

Pour compléter la projection verticale de l'arêtier, il faut projeter sur son plan fig. 2, les courbes elliptiques passant par les points u , w , 9, 10.

Les ellipses passant par les points u et w se confondent sur la projection verticale fig. 2, dans la courbe $d' m'$ qui est en tout égale à la courbe $d m$; ces courbes résultant de sections faites dans les surfaces cylindriques par des plans verticaux parallèles ayant pour traces les lignes $u-11$, $D C$, $w-12$, fig. 1.

La courbe $d' m'$ égale en tout à la courbe $d m$ est donc cette même courbe reculée horizontalement de d en d' , quantité égale à $D o$, fig. 1.

A l'égard des ellipses qui passent par les points 9 et 10 de la projection horizontale, elles appartiennent aux surfaces internes des chevrons, et elles limitent leur épaisseur; ces ellipses sont égales à celle qui passerait par le point 3 du pas de l'arêtier, s'il était creusé suivant ces mêmes surfaces internes. Cette courbe, qui sera d'ailleurs nécessaire sur la projection verticale au sujet des abouts des pannes dont nous parlerons un peu plus loin, peut être tracée par l'un des moyens que nous avons indiqués ci-dessus. Son grand demi-axe est égal à la distance 3- C , fig. 1, qui est porté de c' en $3'$ fig. 2, et son petit axe est égal à la hauteur cz , qui est porté sur la verticale de c' en z' , fig. 2; c'est la demi-ellipse $3' n z'$.

Les ellipses qui passent par les points 9 et 10, fig. 1, sont égales à la courbe que nous venons de décrire; elles se projettent, dans la projection verticale, fig. 2, en une seule ellipse $3'' n''$.

Nous n'avons marqué aucun *déjoutement* ni *engueulement* pour l'assemblage de la sommité de l'arêtier, vu qu'il suffit que les plans verticaux projetés horizontalement en $x-11$, $x-12$, suivant lesquels il s'applique

contre le chevron de long pan et le chevron de croupe suffisent pour le maintenir à sa place, étant d'ailleurs soutenu par l'extrémité du faitage qui couronne le poinçon. Les plans d'abouts du chevron arêtier sont projetés verticalement en 12-xx'-12', que nous avons haché pour faire voir que c'est du bois coupé par le bout.

Le parallélogramme 15-6-6'-15', fig. 2, qui est également haché, est la double projection des deux joues d'application 15-6, 14-6, fig. 1, de l'arbalétrier d'arêtier contre les faces de l'arbalétrier de long pan, et l'arbalétrier de croupe.

Le rectangle 17-18-18'-17 est la coupe du gousset *G* qui reçoit l'assemblage du coyer d'entrait *N*.

Les tirants et coyers, les jambes de force, les entrails et arbalétriers des fermes, ont, comme dans les combles à surfaces planes, plus d'épaisseur, ainsi qu'on le voit sur les projections horizontales, que les chevrons de longs pans et de croupe, que ceux d'arêtiers et de noues, et que les empanons.

§ 2. *Empanons de croupe.*

Nous n'avons point traité, pour les combles à surfaces cylindriques, le cas où les croupes sont biaises, parce que le biais ne change rien aux principes que nous avons précédemment exposés sur ce point. Nous ferons remarquer cependant que, quel que soit le biais de la croupe d'un comble à surface cylindrique, les chevrons et empanons dont les axes sont parallèles aux prolongements des lignes de faitage, ou aux axes des fermes, comme ceux dont les axes sont perpendiculaires aux lignes d'about, sont tous délardés, et qu'il ne peut y avoir lieu, dans ces sortes de combles, à établir des chevrons ni des empanons déversés, lesquels ne peuvent être employés que dans les croupes biaises des combles à pans plans pour diminuer le travail et le déchet du bois.

Dans les combles à surfaces cylindriques, les chevrons et les empanons qui seraient exécutés dans les mêmes conditions de déversement de formes que les empanons déversés des combles plans, donnerait lieu, sans utilité, à plus de difficulté d'épure, à plus de travail d'exécution, et à une plus grande consommation de bois que les empanons simplement délardés.

Dans les combles à surface plane, les chevrons et empanons s'appuient sur les sablières, sous des angles qui permettent de se contenter, pour former leurs pas en assemblage avec les sablières, d'un simple embrèvement qui les retient suffisamment, et empêche leur glissement; mais pour

les combles cylindriques les chevrons et empanons qui, suivant la courbure du comble, reposent à angle droit sur les sablières, il est alors indispensable, pour les maintenir exactement à leurs places, que leurs embrèvements soient consolidés par des assemblages à tenons et mortaises; chaque chevron ou empanon porte un tenon; la mortaise est creusée dans la sablière suivant le fil du bois.

Nous avons marqué, fig. 4, pl. 60, sur les sablières, les pas avec embrèvements et mortaises qui doivent recevoir les empanons de croupe et de long pan.

Un empanon de croupe est projeté horizontalement, fig. 4 en 17-18-21-22; son pas sur la sablière est représenté par le rectangle 17-18-19-20, égal au pas des autres empanons qui sont supposés enlevés; son assemblage contre la face verticale de l'arête est projeté horizontalement en 21-22, avec la projection du tenon, et son occupation en projection verticale sur la face du même arbalétrier est projetée en 17-18-18'-17', fig. 1 et 2.

Nous n'entrons point dans le détail des opérations relatives aux projections des empanons, parce qu'elles sont exactement les mêmes que pour les empanons des combles plans.

On voit en *H* sur le tirant, fig. 2, l'embrèvement et la mortaise, qui doivent recevoir l'assemblage de la sablière de croupe.

§ 3. *Pannes et tasseaux sous l'arêtier.*

Les pannes qui soutiennent les chevrons d'un comble cylindrique sont des pièces carrées; l'une de leurs faces, celle par laquelle chacune d'elles est en contact avec les chevrons, est un peu arrondie suivant la courbure interne de ces mêmes chevrons.

L'une des pannes *P*, fig. 1 pl. LX, est portée par la jambe de force *F*, et maintenue à la hauteur convenable au moyen d'un tasseau *T*, assemblé comme pour les charpentes des toits plans dans la jambe de force et dans le chevron, la panne est mise en contact avec le chevron, par une calle *K*. Une autre panne *P'* est portée par l'arbalétrier, et elle est maintenue par un tasseau *T'* et une calle *K'*; la troisième panne *P''*, intermédiaire, est maintenue dans une entaille faite sur l'entrait.

Ce qui va être dit pour la panne *P*, s'applique aux autres pannes, quant à leur rencontre à bout dans le plan de l'arêtier, leur coupe par ce plan et les entailles à faire dans les arêtiers pour recevoir leurs extrémités.

Le plan qui passe par l'axe d'une panne, et qui est perpendiculaire à sa face externe, passe aussi par l'axe de la surface cylindrique, qui est celui du comble, sa trace verticale pour la panne *P* est la ligne *Pc*; les

faces latérales de cette panne sont parallèles à ce plan. En rapportant par une horizontale le point P en p , fig. 2, sur la projection verticale de la courbe de l'arête creuse interne de l'arêtier, on a en $p\ c'$, la trace du même plan sur cette projection. Les faces latérales de la panne auront par conséquent leurs traces parallèles à celle de ce plan, et passant par les points 27-28 déterminés par la rencontre des arêtes externes de la panne avec la courbe $3' n$, les rencontres de ces mêmes traces avec les arêtes internes de la panne déterminent la trace 29, 30, de la face interne, de façon que le rectangle 27-28-29-30, est la coupe de la panne par le plan de l'arêtier; l'exactitude de l'opération est vérifiée en prolongeant la trace 29-30, de la face interne de la panne jusqu'au point $31'$ sur la ligne qui marque la face supérieure du tirant; le point $31'$, ainsi déterminé, doit être à la même distance du point c' que le point $31''$, fig. 1, se trouve être du point C ; ce point $31''$ est déterminé par la trace de la face interne de la panne, sur le plan horizontal des sablières, la ligne 29-30 étant la trace de cette même face sur le plan vertical. Les rencontres des arêtes horizontales de la panne projetées sur le plan vertical d'arêtier, fig. 2, avec la courbe $3' n'$ déterminent les points 28'-27' par lesquels passent les traces des faces latérales des chevrons arêtiers sur les faces latérales de la panne; les traces 27'-30', 28'-29' parallèles aux lignes 27-30, 28-29 déterminent les formes de l'entaille à faire de chaque côté du chevron arêtier pour le logement des bouts des pannes. Cette entaille est pour chaque panne un prisme courbe triangulaire, dont les bases sont le triangle 27-27'-27'' et le triangle 28-28'-28''.

Le tasseau T qui soutient les pannes ne présente aucune difficulté; il est traité absolument de la même manière que celui qui soutient les pannes dans le cas des combles à surfaces planes, il est même plus simple en ce que la panne de croupe étant égale à celle de long pan, les deux côtés du tasseau sont égaux; il est creusé en gouttière régulière pour recevoir les faces inférieures des deux pannes qui se joignent dans le plan vertical de l'arêtier.

Une cale K repose sur le tasseau comme dans la forme de long pan, et se trouve interposée entre les pannes et la jambe de force sur laquelle elle est posée à plat joint. Cette cale est de même épaisseur que la jambe de force, et elle est déjoutée de chaque côté pour s'appliquer contre la panne de long pan et la panne de croupe, de façon qu'elle présente une arête saillante comme un arbalétrier d'arêtier.

La fig. 3, pl. LX, est une projection horizontale du bout du tirant sur lequel se trouve marqué le pas avec mortaise pour recevoir le chevron d'arêtier qui a été projeté verticalement dans la fig. 2; la correspondance de la fig. 3 avec la fig. 2, est marquée par des lignes ponctuées.

Cette même fig. 3 présente la projection horizontale du tasseau *T*, dans la supposition que le chevron d'arêtier est enlevé.

On voit, dans cette projection du tasseau, son tenon d'assemblage avec le chevron; le bout de ce tenon est coupé à l'affleurement des surfaces cylindriques qui forment l'arête : il présente lui-même une arête qui est comprise dans celle du chevron d'arêtier. Ce tasseau est, du reste, assemblé par un embrèvement plan dans la surface cylindrique interne du chevron, qui n'est creusée que par les entailles indispensables pour recevoir les bouts des pannes.

La face du dessus du tenon est dans le prolongement de l'arête creuse du tasseau; les bords antérieurs de cette arête creuse s'ajustent sur ceux des entailles faites dans le chevron pour servir de logement aux bouts des pannes, tandis que les bords de l'autre bout joignent la face supérieure de la jambe de force, dans laquelle le tasseau s'assemble à tenon et mortaise.

Dans cette même projection, fig. 3, la jambe de force est supposée coupée par un plan horizontal à la hauteur de l'arête 28-32, fig. 2, la plus élevée de la panne, ce qui donne pour section, fig. 3, le rectangle 32-33-34-35.

Le cale *K* se trouve également projetée avec l'arête 29-30 qu'elle forme sous la réunion des deux bouts des pannes.

La fig. 4 est une projection du chevron d'arêtier sur un plan perpendiculaire au plan d'arêtier, ayant pour trace sur ce plan la ligne *d' h*, convenablement choisie pour mettre en évidence, après le rabattement autour de cette ligne sur le même plan de projection verticale de l'arêtier, la face interne du chevron, où l'on voit, en *d' d' d'*, l'about et le tenon de ce chevron pour son assemblage sur le coyer; en *T*, l'embrèvement et la mortaise du tasseau; en *P*, la double entaille qui est le logement des bouts réunis des deux pannes du premier cours, qui se joignent en about à plat-joint dans le plan vertical d'arêtier.

Plus haut, en *E*, se trouve la mortaise qui doit recevoir le tenon du bout du coyer *N*, et enfin au-dessus, en *P'*, la double entaille où doivent se loger les bouts des pannes du second cours *P''*.

La projection du chevron n'est pas étendue au delà de *h*, parce que sa courbure rendrait les détails confus. Cette projection du chevron d'arêtier n'est point nécessaire pour le tracé ni pour la coupe; mais nous l'avons figurée, ainsi que la suivante, pour faciliter l'étude des formes des assemblages et entailles que reçoit ce chevron.

La fig. 5 est une projection horizontale du coyer-entrait *N*, vu par sa face supérieure. Ce coyer est terminé du côté du chevron par le tenon *E*, qui s'assemble dans la mortaise du chevron. La double entaille *N*, qui supporte les bouts des deux pannes du deuxième cours, est figurée ainsi

que les petites entailles triangulaires $o o$, faites sur l'extrémité de l'arbalétrier L . Ces petites entailles sont faites par les prolongements des faces internes des pannes, pour que le bout de l'arbalétrier ne s'étende pas au delà. On a ponctué en L l'assemblage à tenon et mortaise de l'arbalétrier sur le coyer-entrait. On voit aussi tracés en lignes ponctuées, l'about, le tenon et le trou de cheville de l'assemblage du coyer-entrait N dans le gousset G , fig. 2, et enfin l'arbalétrier est terminé par deux déjoutements 14-6, 15-6, suivant lesquels il s'applique contre les arbalétriers de long pan et de croupe qui se réunissent sur le poinçon.

§ 4. *Noue.*

La fig. 6 est la projection verticale de la partie inférieure de la ferme de noue comprenant les deux premiers cours de pannes.

Les courbes elliptiques $b m$, $b' m'$, $2 n$, $2' n'$, qui figurent les arêtes du chevron de noue, sont tracées par les mêmes procédés que nous avons indiqués pages 3 et 4.

§ 5. *Pannes et tasseaux sur la noue.*

Les constructions pour déterminer la portion de chaque panne comprise entre une face verticale du chevron de noue et le plan vertical de noue, sont absolument les mêmes que celles que nous venons d'indiquer ci-dessus au sujet du chevron d'arêtier, si ce n'est que, au lieu d'une arête saillante, la noue présente en dessus une arête creuse $b m$, et qu'en dessous les entailles, au lieu de présenter un creux pour le logement des bouts des pannes, elles forment deux portions de délardement en forme de prismes courbes, ayant pour base les triangles 27-27'-27'' et 28-28'-28'', pour donner passage aux pannes. Le tasseau T est assemblé de la même manière que pour le chevron arêtier; mais, au lieu d'être creusé en gouttière, il présente une arête saillante formée par les deux délardements sur lesquels doivent s'appuyer les pannes; enfin, la cale K , dont le dessous est creusé en gouttière, s'applique sur l'arête du tasseau, d'une part, de l'autre, à plat-joint sur la face de la jambe de force, tandis qu'elle est creusée par les deux plans 29-30-30'-29', pour former, sur le devant, l'arête creuse 29-30, qui reçoit les bouts des deux pannes, sa face supérieure restant horizontale au niveau de l'arête supérieure 29-29' de la face interne de chaque panne.

A l'égard des pannes du second cours, elles portent dans les entailles faites de chaque côté de l'entrait, où elles forment des arêtes en sens contraire de celles faites sur l'entrait de la ferme arêtrière.

La fig. 7 est une projection horizontale sur laquelle nous avons marqué le pas et la mortaise d'assemblage du chevron de noue sur le tirant; nous avons également projeté sur cette figure le tasseau T , dont le tenon traverse le chevron de noue, son bout se trouvant coupé suivant l'arête creuse de noue, ce tasseau supporte la cale K , qui représente l'arête creuse 29-30, formée par les deux plans projetés en 29-30-30'29' et dont nous avons déjà parlé.

§ 6. *Empanons de noue.*

Nous avons projeté horizontalement en R et R' , deux empanons de noue, l'occupation de l'empanon R , sur l'arbalétrier de noue est projeté verticalement sur le chevron de noue, fig. 4 et fig. 6, en 23-24-24'-23', avec l'indication de la mortaise qui doit recevoir le tenon dudit empanon.

II.

COMBLES CYLINDRIQUES INTÉRIEUREMENT.

§ 1. *Groupe.*

La planche LXI a pour objet l'épure d'un arêtier et d'une noue, d'un berceau en charpente sous un toit composé de pans plans et devant former, après son revêtement, une voûte cylindrique, ayant intérieurement ses arêtes creusées en arc de cercle sous les arêtiers et saillantes comme les voûtes d'arêtes sous les noues.

Les procédés de constructions graphiques, pour les diverses projections, sont les mêmes que ceux que nous avons déjà décrits pour les diverses épures que nous avons traitées, de sorte qu'en livrant cette épure à l'étude des charpentiers, il nous paraît suffisant de nous borner à l'indication des différentes projections.

Sur la fig. 1, $A B D E$ est, comme précédemment, la ligne d'about des chevrons des surfaces planes extérieures, la ligne $A' B' C' D'$ est celle d'about des chevrons des surfaces cylindriques intérieures.

$D C$ est la trace horizontale du plan vertical d'arêtier dans lequel ont lieu les intersections des surfaces planes extérieures et les intersections des surfaces cylindriques intérieures. $B B'$ est la trace horizontale du plan vertical de noues dans lequel ont lieu les intersections des surfaces planes extérieures et des surfaces cylindriques intérieures des longs pans.

La ferme principale qui sert de type à la construction du comble est couchée sur le plan horizontal; elle repose sur une muraille profilée avec sa corniche par masse en $a b y d e f h$.

La ferme dont nous n'avons figuré que la moitié fig. 1 (1), est portée à la naissance du berceau sur des tasseaux z , dans lesquels s'assemblent les jambes de force J qui soutiennent l'entrait I , dans lequel portent les arbalétriers M , qui vont s'assembler dans le poinçon a , lequel porte les faitages. La fig. 11 est une projection de l'entrait I , vu par sa face inférieure avec les embrèvements, mortaises et abouts pour l'assemblage de la jambe de force en J , et de la courbe en O et l'onglet de raccordement du chevron de croupe.

Les pannes P sont maintenues, comme de coutume, par des tasseaux T et des cales K ; elles servent d'appui aux chevrons H , dont les pieds portent par embrèvement dans les sablières S , lesquelles sont retenues à la jambe de force par des blochets v de l'une des manières, que nous avons expliquées au chapitre XIII, tome I.

Le berceau est formé, ainsi que nous l'avons déjà décrit, au même chapitre, par des portions de cintres $O O'$, qui s'assemblent dans les jambes de force, dans l'entrait et dans les sablières U , lorsqu'elles répondent aux fermes, ou qui s'assemblent intermédiairement aux fermes dans les liernes R , et la pièce de faite V , qui tiennent lieu de pannes et de faitage.

Nous n'avons point à nous occuper de ce qui concerne les pannes et chevrons qui composent la partie extérieure du comble; tout ce qui a été dit chapitre XIV s'appliquant à cette partie de l'épure. Nous ne nous occuperons que des pièces qui entrent dans la composition du berceau.

La forme extérieure du toit devant présenter, suivant l'usage, un pan de croupe plus raide que les longs pans, il s'ensuit que la portée de la demi-ferme de la croupe est plus petite que le demi-diamètre de la ferme de long pan. Ainsi la ligne $C E'$ est plus courte que la ligne $c u$, dans le rapport usité pour l'augmentation de la raideur des croupes. Il s'ensuit encore que l'ellipse qui doit servir de base à la surface cylindrique du berceau de croupe doit être déduite de celle qui résulte de la rencontre de la surface cylindrique de long pan avec le plan vertical d'arêtier. On peut néanmoins construire l'ellipse de croupe immédiatement en déduisant ses demi-axes des premières données de l'épure.

La figure 2 est la projection verticale de la ferme de croupe sur le plan vertical ayant pour trace horizontale la ligne $C E$. Ce plan, reporté à gauche jusqu'à la ligne $B D$, est couché toujours à gauche sur le plan de l'épure. Le demi-axe vertical de l'ellipse $c' q'$ est égal au rayon $c q$ du cercle, fig. 1; le demi-axe horizontal de l'ellipse $c' e$ est égal à la ligne $C E'$, trace horizontale du pan du profil de croupe.

(1) Cette ferme est, comme dans l'épure précédente, couchée sur le plan horizontal.

La figure 3 est la projection de la ferme arêtière sur le plan vertical d'arêtier dont la trace horizontale est $C D'$, fig. 1, reportée de c' en d' , fig. 3, sur la ligne qui est au niveau de la naissance de l'arc de la ferme principale, et le plan de projection de ce profil est couché sur celui de l'épure. Le demi-axe vertical $c' q''$ de l'ellipse arêtière est égal au rayon du cercle $c q$. Le demi-axe horizontal de la même ellipse est la ligne $c' d'$, égale à la diagonale de la croupe $C D'$, fig. 1. Ces ellipses, ainsi que celles qui sont les projections des arêtes de la pièce d'arêtier, peuvent être tracées par points, comme nous l'avons décrit page 8, ou par les procédés que nous avons indiqués dans la note de la même page.

Les assemblages des courbes O, O' , ainsi que des liernes dans la ferme de croupe, sont déterminés par la condition que les plans des abouts des premières et les plans parallèles aux faces des secondes, passant par leurs axes, soient normaux aux surfaces cylindriques.

Les détails de l'épure montrent d'une manière suffisante ces différents assemblages.

La fig. 4 est la projection de la jambe de force sur un plan parallèle à sa face plane supérieure et couchée en tournant autour d'une arête pour montrer la face interne de cette pièce. En D se projette le tenon d'assemblage avec le tasseau z d'arêtier, fig. 3; en O est l'embrèvement avec tenon et about pour recevoir l'assemblage de la courbe O , qui forme la naissance. En J se trouve le *refouillement* en arête creuse de la partie de la jambe de force qui appartient aux surfaces cylindriques intérieures. En O' est l'embrèvement avec tenons et abouts pour recevoir la courbe O' qui forme une partie de l'arête creuse du berceau. En E se trouve enfin la projection de l'about du tenon et de l'embrèvement de l'assemblage de la jambe de force dans le coyer-entrait I . Ce coyer-entrait est assemblé par embrèvement, tenon et about projetés en E' , fig. 3, dans l'embrèvement et mortaise projetés également en E' sur l'entrait de la ferme, fig. 1. La fig. 5 est la projection du bout supérieur de la jambe de force sur un plan vertical perpendiculaire au plan d'arêtier de la fig. 3.

La fig. 6 est une projection de l'entrait vu par sa face inférieure pour montrer, en T , l'embrèvement de la mortaise d'assemblage de la jambe de force, et en O' les mêmes objets pour l'assemblage de la courbe O' , fig. 3.

La fig. 7 est la projection de la courbe O' de la ferme arêtière sur un plan qui a pour trace la ligne 8-9; transportée obliquement à droite en 8'-9' pour coucher le plan de projection sur une place libre; elle montre la face interne de la courbe qui contient la partie du creusement par lequel elle appartient à l'arête creuse du berceau et les tenons et abouts pour son assemblage avec la jambe de force J et avec l'entrait I .

Nous avons figuré en *N* et *N'*, fig. 1, une courbe-chevron assemblée entre la sablière et le dessous de la première lierne, et une courbe-empanon assemblée entre le dessus de la même lierne et la face de la ferme d'arêtier qui regarde la croupe. La première, *N*, se trouve projetée sur la fig. 3 en *e-10-11-12*, s'assemblant à entailles carrées dans l'une et l'autre. La deuxième, *N'*, est projetée verticalement sur la fig. 2, en *13-14-15-15'*; son occupation sur la ferme qui est projetée en *15-16*, fig. 1, est projetée en *15-16-16'-15'*, fig. 2, avec l'indication de la mortaise.

Nous avons reporté cette même courbe-empanon, fig. 8, afin de la présenter plus distinctement, et la fig. 9 est une projection sur un plan qui a pour trace la ligne *15-14* de la fig. 8, et qu'on a fait tourner autour de cette trace pour montrer la face interne de cette courbe-empanon avec ses tenons.

§ 2. *Noue.*

La ligne *B' B*, fig. 1, pl. LXI, est la trace du plan vertical de noue dans lequel se fait la rencontre ou intersection des deux combles cylindriques égaux. *B-20-21-21'-20'* est le pas en assemblage de la jambe de force sur le tasseau qui porte la naissance. *B'-22-23-23'-21'* est le pas de la première courbe qui concourt, dans la ferme de noue, à former l'arête de noue; car il faut remarquer de nouveau que les pas du toit forment une noue creuse, tandis que l'intérieur forme une arête saillante, comme dans les voûtes d'arêtes.

Nous ne donnons point de détails sur la ferme de noue, vu que tout ce qui a été dit précédemment est plus que suffisant pour qu'on ne rencontre aucune difficulté si l'on veut en faire l'épure, et que la planche suivante contient d'ailleurs la projection d'une ferme de noue qui réunit tous les cas qui peuvent se présenter.

III.

COMBLE EN IMPÉRIALE ET EN BERCEAU INTÉRIEUREMENT.

Nous offrons à la méditation des ouvriers l'épure de la planche LXII, qui présente en même temps une croupe et un épi de noue; les formes de la ferme principale, présentant, en même temps aussi, à l'extérieur une impériale et à l'intérieur un berceau; ce qui est comme la réunion des deux épures précédentes. Et quoique les combles en impériale ne soient guère

d'usage aujourd'hui, il m'a paru utile de reproduire cette forme dans quelques planches où elle présente des combinaisons qui donnent lieu à des constructions graphiques dont l'étude est utile.

La fig. 6 est la projection horizontale sur une petite échelle d'un pavillon à cinq épis, formé de quatre combles en impériale à l'extérieur, qui produisent quatre noues se réunissant sur le poinçon central. Ces quatre combles sont terminés par quatre coupes avec leurs huit arêtiers également en impériale; tandis que l'intérieur est formé de deux berceaux dont la rencontre, après le revêtement, soit en planches, soit en lattis avec enduit en plâtre, forme au milieu du pavillon une voûte d'arête et dans les extrémités sous les croupes des voûtes en arcs de cloître.

La ligne $A B D E G H$, fig. 1, sur la projection horizontale ou partie du plan en grand du pavillon, est la ligne d'about des chevrons de la surface extérieure du toit. Elle répond à la ligne $a b d e g h$ de la fig. 6; $A' B' D' E' G' H'$ est la ligne d'about des chevrons de la surface intérieure.

P est le poinçon ou épi de croupe; Q est le poinçon ou épi des noues; l'un et l'autre sont en projection horizontale.

La figure 2 est le profil d'une ferme principale, formant impériale et berceau.

Les sablières $S S'$ forment intérieurement et extérieurement plinthes en saillies sur les murs. Les surfaces extérieures, comme celles intérieures du comble, sont aplomb des parements des murs.

Toutes les parties courbes de la ferme principale étant tracées au moyen d'arcs de cercle, les rencontres des surfaces des combles, tant extérieures qu'intérieures, soit par les plans d'arêtiers, soit par les plans de noues, sont tracées par des arcs d'ellipses, et même les fermes de croupes sont aussi tracées par des arcs d'ellipses, vu que la portée de la ferme de croupe est plus petite que la demi-portée de la ferme principale ou de long pan.

La fig. 3 est la ferme de croupe projetée sur un plan vertical, qui a pour trace horizontale la ligne $P L$. Cette projection est reportée en $p l$ à gauche et couchée sur le plan de l'épure. La ferme s'appuie au faitage F , soutenu par un aisselier J assemblé dans le poinçon P .

La fig. 4 est la projection verticale de la ferme d'arêtier sur le plan vertical qui a pour trace la ligne d'arêtier $P E$, reportée de p en e sur la ligne $A H$, et couchée sur l'épure. Le chevron d'impériale présente un véritable arêtier avec arête saillante; les courbes de l'intérieur sont en arêtes creuses.

La figure 5 est la projection verticale de la ferme de noue sur le plan vertical qui a pour trace la ligne de noue $Q B$ ou $Q G$.

Le chevron en impériale est une véritable noue; les courbes intérieures présentent, au contraire, une arête saillante.

Les raccordements des arcs de cercle au moyen desquels l'impériale est tracée dans la ferme principale sont en m ; ils sont sur des normales communes et ont des tangentes communes.

Les raccordements des ellipses ont lieu dans les points m' , m'' , m''' , fig. 3, 4, 5, qui sont aux mêmes niveaux; les deux arcs d'ellipse, dans chaque ferme, ont une tangente et une normale communes.

xy étant la trace du plan tangent commun aux parties cylindriques à bases d'arcs de cercle de l'impériale, les traces de ce plan $x'y'$, $x''y''$, $x'''y'''$, sur les plans de noue, d'arêtier et de croupe, sont les tangentes communes aux arcs d'ellipse; les points m , m' , m'' , m''' , sont à même hauteur au-dessus du plan horizontal des sablières; les points x , x' , x'' , x''' , sont également à même hauteur; les points y , y' , y'' , y''' , sont aussi à même hauteur. Cette remarque fournit un moyen de vérification de l'exactitude des divers tracés.

Les courbes elliptiques peuvent être tracées, comme nous l'avons remarqué page 4, par points déduits de l'épure ou par des constructions dépendantes des propriétés géométriques de ces courbes qui n'exigent que la détermination des axes d'après l'épure.

Toutes les ellipses qui appartiennent aux parties en impériale ont leurs demi-axes verticaux, égaux au rayon des cercles qui entrent dans le tracé de l'impériale de la ferme principale, et ces demi-axes sont compris dans les plans verticaux qui contiennent les centres des arcs de cercle; les centres des ellipses sont dans les plans horizontaux qui contiennent les mêmes centres, et leurs axes horizontaux sont égaux aux projections des rayons horizontaux, de ces mêmes cercles sur les plans d'arêtier et de noue, et sur celui de la ferme de croupe.

Quant aux courbes elliptiques de l'arêtier, de la noue et de la croupe de la voûte intérieure, elles ont toutes leurs demi-axes verticaux égaux au rayon $e p$ du cintre, et leurs demi-axes horizontaux égaux $P D'$ pour l'arêtier, $Q B'$ pour la noue et $P L'$ pour la croupe.

Les parties de l'épure qui regardent les pannes et les liernes sont traitées de la même manière que dans les épures précédentes, et comme d'ailleurs au lieu de se joindre bout à bout dans les plans d'arêtier et de noue où il faudrait qu'elles trouvassent leur logement, elles s'assemblent immédiatement dans les arbalétriers d'impériale et dans les jambes de force en arbalétrier du berceau intérieur, leurs traits sont simplifiés, vu qu'il ne s'agit plus que d'assemblages ordinaires.

Nous n'avons point tracé d'empanons, attendu qu'ils auraient été pareils à celui qui a été décrit sur la planche précédente.

IV.

VOÛTE D'ARÊTE ET VOÛTE DE CLOÎTRE.

§ 1. *Disposition générale.*

On construit, soit pour être revêtus en menuiserie, soit pour être couverts d'un lattis avec un enduit, des assemblages de charpente qui présentent intérieurement l'aspect de *voûtes d'arêtes* ou *celui d'arcs de cloître*. Les épures précédentes offrent des exemples pour le cas où les murs qui soutiennent ces constructions sont établis sur des plans rectilignes.

La planche LXIII a pour objet de donner des exemples de ces sortes de constructions pour le cas de bâtiments circulaires.

La fig. 1 est le plan général d'un bâtiment circulaire porté sur des piliers; la voûte principale que ces piliers supportent est une voûte en berceau annulaire; elle est percée de berceaux conoïdaux dont les axes tendent au centre de l'édifice; les intersections qui en résultent forment des arêtes qui sont projetées au plan par des arcs de courbes, et qui constituent les arêtes saillantes, lesquelles ont fait donner à cette combinaison le nom de *voûtes d'arêtes*.

La fig. 2 est un bâtiment circulaire de même étendue, formé de deux murs concentriques; l'espace compris entre ces deux murs est partagé par des murs dont les axes tendent au centre; chaque espace résultant de cette combinaison est couvert par la même voûte annulaire dont nous avons parlé plus haut; ses naissances s'appuient aux murs circulaires, pendant qu'une voûte en berceau conoïdal en remplit deux parties, en prenant ses naissances sur les murs de refend. Il en résulte, dans chaque pièce, deux arêtes, mais qui sont creuses au lieu d'être saillantes : on nomme cette combinaison *voûtes en arcs de cloître*.

La fig. 3, qui est au-dessus de la ligne *AC*, est l'épure d'une moitié de la charpente en *voûte d'arête*, répondant à l'une de celles du plan, fig. 1.

La fig. 4, qui est au-dessous de la même ligne, est celle de la charpente d'une moitié de voûte *en arcs de cloître*, répondant à l'un des compartiments du plan, fig. 2. Dans ces deux figures, nous supposons que les voûtes sont vues par leurs surfaces intérieures, comme si elles étaient retournées.

Les angles *B, D*, fig. 3, sont ceux de deux des quatre piliers qui soutiennent la charpente, et notamment les pièces arêtières formant les arêtes saillantes de la voûte d'arête.

Les encoignures $B' D'$, fig. 4, sont formées par les murs concentriques et les murs de refend; elles portent les pièces arêtières qui marquent les arêtes creuses de l'arc de cloître.

La voûte annulaire a son centre en C . Les arcs $B M B'$, $D N D'$ sont les projections horizontales de ses naissances, son méridien générateur est le cercle $b y d$, fig. 5.

La trace $B D$ du parement des piliers, et la trace $B' D'$ du parement du mur de refend tendent au centre C , et elles sont tangentes au cercle $M E N E'$, décrit du point G , milieu de l'écartement des deux murs concentriques.

La surface du berceau que croise la voûte annulaire est celle du corps connu sous le nom de *conoïde*. Elle est engendrée par une ligne droite qui se meut en demeurant toujours horizontale et en s'appuyant d'une part contre l'axe vertical projeté sur le point C , et contre une courbe elliptique tracée au choix du constructeur, ou sur le parement de l'un des murs circulaires, ou, comme nous l'avons supposé ici, sur un plan vertical perpendiculaire à l'axe horizontal $A C$, et ayant pour trace la ligne $B B'$, qui est le plus grand axe de cette ellipse; son petit axe est égal au rayon $k g$, fig. 5, du cercle générateur de la surface annulaire.

Les deux axes de cette ellipse directrice étant donnés, elle peut être tracée par ses propriétés géométriques par un des moyens que nous avons indiqués pages 3 et 4, ou bien ses points peuvent être déterminés par une suite de constructions graphiques sur l'épure; le cercle $B y'' D$ sur le plan horizontal étant égal au cercle générateur, fig. 5, le point y'' est projeté sur le point E , et pour construire le point de l'ellipse correspondant au point m du cercle, il faut mettre ce point m en projection horizontale en m'' , et tracer la ligne $m'' e''$ parallèle à $E e$; l'ordonnée $e'' q$, qu'on fait égale à $m'' m$, donne le point q de l'ellipse; on construit tous les autres points de l'ellipse directrice $B' q' q B$ de la même manière: cette ellipse est ici rabattue à gauche sur le plan de l'épure, l'ayant fait tourner autour de son axe $B B'$.

Les arêtes résultant de l'intersection de la surface annulaire et de la surface conoïdale sont égales et symétriques par rapport à l'axe $A C$, elles sont projetées horizontalement en $B G' D$ et $B' G D$. Les points de ces courbes sont déterminés en projection horizontale par une suite de plans horizontaux, qui coupent les deux surfaces. Ainsi chacun de ces plans coupe la surface annulaire suivant deux cercles, et la surface du conoïde suivant deux lignes droites. Ces quatre lignes, en se rencontrant, donnent quatre points x, x', y, y' , qui appartiennent aux intersections des surfaces.

§ 2. *Voûte d'arête.*

La ferme de la voûte annulaire est représentée fig. 5, pl. LXIII; la ferme répondant à l'arc extérieur du conoïde est projetée, fig. 6 (1), sur un plan vertical ayant pour trace la ligne bb' , et rabattu à gauche sur le plan de l'épure : nous n'avons figuré que la moitié de cette ferme.

La ferme répondant à l'arc intérieur du conoïde est projetée, fig. 7, sur un plan vertical rabattu à droite : nous ne représentons également que la moitié de cette ferme.

La fig. 8 est la projection de la ferme arêtière répondant à l'arête projetée horizontalement en GD ; cette projection, fig. 8, est faite sur un plan vertical ayant pour trace horizontale la ligne RS , fig. 3 et 4; la portion QS de cette trace est portée de Q en S , fig. 8.

Toutes les fermes de cette charpente sont composées de deux poteaux T , d'une traverse P supportée par ces poteaux et de deux aisseliers X qui s'assemblent avec les poteaux de la traverse. Ces cinq pièces forment le cintre dans chaque voûte; et dans la demi-ferme arêtière, fig. 8, elles contiennent l'arête d'intersection des deux voûtes.

Toutes ces fermes sont projetées par leurs épaisseurs sur le plan fig. 3.

Une solive horizontale MN forme le faitage de la voûte conoïdale; cette solive s'assemble en M et en N dans les traverses P, P des fermes de tête, fig. 6 et 7.

Une autre solive circulaire GO , fig. 3, forme le faitage de la voûte annulaire; elle s'assemble d'un bout en O dans les traverses de la ferme, fig. 5, et de l'autre bout dans la solive MN .

Les fermes arêtières viennent joindre la rencontre des deux faitages, et forment en G un épi sans poinçon. La jonction des traverses des fermes arêtières avec les pièces de faitage a lieu par les déjoutements 1-2-3, 4-5-6.

(1) Les courbes des arcs de ces fermes, malgré leur apparence, ne sont point des ellipses, on ne peut les construire que par des opérations résultant de l'épure; leur construction est simple. Pour obtenir les points u , fig. 6, on met en projection verticale la génératrice Cz , dont la hauteur, au-dessus du plan horizontal, est égale à l'ordonnée $c'q$ de l'ellipse directrice. Cette projection est la ligne horizontale cn' , fig. 6. En élevant par le point z une verticale, elle donne le point n de la courbe, appartenant à la face intérieure de la ferme. On a de même le point n' qui appartient à la face extérieure. On obtient de même les courbes de la ferme intérieure. Nous avons indiqué ces constructions pour la même génératrice cz , sur les fig. 7 et 8; mais nous n'avons point conservé celles qui ont été faites pour d'autres génératrices, afin d'éviter la confusion des lignes.

Les lignes 7-8-9, 10-11-12 sont les projections horizontales des joints à bouts, des assemblages des aisseliers des fermes arêtières avec leurs traverses.

Nous avons projeté horizontalement en U, U' , deux empanons de la voûte annulaire qui s'assemblent dans la pièce de faitage $Q O$ et dans les fermes arêtières.

Nous avons rapporté la projection verticale de ces deux empanons sur la ferme, fig. 5, par les arcs de cercle décrits du point C , comme centre.

Nous avons aussi projeté deux empanons $V V'$ de la voûte conoïdale; ils s'assemblent de même dans la pièce de faitage $M N$ et dans les fermes arêtières, l'occupation de l'un d'eux est marquée en V'' sur la projection de la ferme arêtière, fig. 8.

Nous ne les avons point projetés verticalement pour ne pas compliquer inutilement notre épure par des constructions absolument pareilles à celles que nous avons indiquées dans la note de la page précédente.

L'arête $G D$, fig. 3, occupe le milieu de la ferme arêtière, de façon que le pas du poteau sur le pilier en maçonnerie, n'est point dévoyé, suivant la règle que nous avons indiquée pour les arêtières des combles, ce qui n'a point d'inconvénient pour le cas qui nous occupe; cependant, si l'on voulait satisfaire à cette condition, nous avons indiqué, fig. 10, la construction pour dévoyer le poteau, et par conséquent, la ferme arêtière. Soit $D G$ la projection de l'arête sur $D f$ qui lui est perpendiculaire dans le point D ; on porte l'épaisseur $D a$ de la ferme; $a b$ est tracé perpendiculairement à la face du pilier; $b d$, parallèle à $D a$, détermine la position de la ferme dévoyée: il ne s'agit plus que de tracer parallèlement à l'arête $D G$ les courbes que donnent les projections des parements de la ferme arêtière.

§ 3. Arc de cloître.

Les données restent les mêmes que pour la voûte d'arête, mais les pièces qui étaient droites ou au moins horizontales, sont remplacées par des pièces cintrées et réciproquement.

De M en N , fig. 4, est une ferme comme celle représentée fig. 5; de G en E' est une autre ferme cintrée suivant la surface conoïdale. Cette ferme est projetée, fig. 11, sur le plan vertical rabattu à gauche en tournant autour de sa trace $b b'$.

Les fermes $G B', G D$ qui contiennent les arêtes creuses en forme de noues ou d'arcs de cloître, joignent les deux précédents par les déjoutements $1'-2'-3', 4'-5'-6'$.

La ferme arêtière GB est projetée sur le plan vertical qui a pour trace horizontale la ligne RS , dont la partie QR est reportée en CR , fig. 9.

Ces fermes sont composées et assemblées de la même manière que celles de la voûte d'arête. Nous avons représenté leurs portées dans les murs.

Nous avons représenté en Y et Y' deux empanons qui appartiennent à la portion de la voûte annulaire, et en Z et Z' deux autres empanons appartenant à la voûte conoidale. Ces empanons s'assemblent dans les fermes arêtières et dans les sablières, nous avons haché leurs bouts inférieurs ou abouts des naissances comme ceux des fermes. Nous avons marqué sur la fig. 9 les occupations des pièces qui répondent à l'empanon Z . Les courbes des arcs des fermes et des empanons sont tracées par les constructions graphiques que nous avons indiquées dans la note de la page 19.

Nous n'avons point indiqué dans cette épure les tenons et mortaises pour ne point la compliquer davantage, les assemblages ne présentant d'ailleurs aucune difficulté de trait.

Il arrive quelquefois que le passage au travers d'une voûte annulaire doit être de la même largeur à ses deux extrémités; c'est le cas que nous avons indiqué fig. 12. Nous avons supposé encore que la largeur du passage était égale à celle de la voûte annulaire; ces deux largeurs pourraient être inégales; il n'en résulterait pas moins, si les hauteurs des deux voûtes étaient les mêmes, une voûte d'arête qui devrait être traitée de la même manière quant à la disposition des fermes. Le passage est couvert par un berceau cylindrique.

On doit rechercher, en charpenterie, les formes qui facilitent l'exécution des ouvrages lorsqu'elles ne s'écartent point trop de celles dont l'aspect serait le plus satisfaisant; c'est ainsi que pour les voûtes d'arêtes et de cloître sur plan circulaire, on peut adopter des courbes planes pour les arêtières en les faisant résulter des sections faites dans la voûte annulaire, fig. 3, pl. LXXIII, par des plans verticaux passant sur les points B, D, B', D' et le centre G , et supposer alors que la voûte conoidale est engendrée par une droite horizontale s'appuyant sur les courbes $GB, G'B'$, ou sur les courbes $GD, G'D'$; les fermes arêtières sont alors planes et d'une exécution facile.

La fig. 13, pl. LXIII, représente un quadrilatère irrégulier $ABDE$ qui peut être couvert par une voûte d'arête ou par une voûte en arc de cloître, suivant que l'édifice présente les quatre angles A, B, D, E , des quatre piliers ou les quatre murailles qui forment les côtés du quadrilatère; dans l'un et l'autre cas, ces voûtes qui donnent lieu aux arêtes saillantes ou creuses projetées en AGD, EGB , ne peuvent être que des voûtes conoidales. L'axe vertical de l'une est en C , celui de l'autre est en C' ; la direc-

trice de la première est l'ellipse $D N E$ couchée sur le plan horizontal en tournant autour de son axe $E D$, l'autre est l'ellipse $E M A$ également couchée sur le plan horizontal en tournant autour de son axe $A E$. Ces deux ellipses ont leurs demi-axes verticaux $P M$, $Q N$ égaux. Les points quelconques des arêtes résultant des intersections des deux voûtes, pris quatre à quatre, sont déterminés par celles de quatre génératrices $C n$, $C n'$, $C' m$, $C' m'$ prises à même hauteur.

Au lieu d'une ellipse pour directrice de l'une des voûtes conoïdales, on pourrait prendre un arc de cercle $E M A$, ou $E L A$, pourvu que la directrice de l'autre voûte conoïdale fût également un arc de cercle et que les deux arcs aient des flèches égales.

§ 4. Voûtes gothiques.

Lorsque l'on considère quelques voûtes d'églises gothiques, on est tenté de croire qu'elles sont des imitations de constructions en charpente. En effet, bien que ces voûtes soient des combinaisons de surfaces cylindriques qui se rencontrent et produisent des arêtes saillantes et des arêtes rentrantes comme dans les voûtes qu'on appelle voûtes d'arêtes et voûtes en arc de cloître, ces arêtes creuses et saillantes sont marquées par de grosses moulures qui semblent être les arcs des fermes d'arêtières et de noues qui auraient de la saillie sur les remplissages intermédiaires.

Nous donnons, fig. 16, pl. LXXV, un détail d'une voûte en charpente de ce genre.

$A B C D$ est une projection horizontale qui montre le dessous ou l'intérieur de 12 arêtes d'intersection des voûtes qui se trouvent à la croisée de deux nefs.

La ferme en cintre, projetée horizontalement en $A E D$, est en projection verticale couchée sur la gauche en $A e d$. Elle est le cintre générateur de chacun des quatre berceaux des quatre nefs.

$A-1-2-3-B$ est une coupe en long suivant la ligne $a b$ du plan.

Cette coupe contient la projection verticale de la partie de la charpente qui se trouve au delà du plan vertical suivant lequel elle est faite.

Les fermes projetées horizontalement en $A 1$, $A 4$, $B 4$, $B 3$, et leurs symétriques aboutissant aux points 1, 3, 5, et ayant leurs naissances qui répondent aux piliers opposés diagonalement à ceux A , B , sont autant de fermes arêtières, leurs arêtes sont données par les sections faites dans les voûtes par les plans verticaux répondant aux lignes de milieu des fermes. Ces arêtes servent de base à des surfaces cylindriques dont les génératrices sont horizontales comme celles des autres berceaux, mais qui sont

à angle droit avec celles des berceaux dans lesquels les arêtes se trouvent. Il suit de la position de ces surfaces cylindriques qu'en se rencontrant elles forment des arêtes creuses auxquelles répondent les fermes projetées en *A-6*, *B-7*, et celles qui leur sont opposées diagonalement aboutissant aux points 8 et 9.

La ligne brisée *m n o p q* est la projection horizontale d'une section faite dans les surfaces intérieures de ces voûtes par un plan horizontal; elle fait juger quelles fermes répondent aux arêtes saillantes et rentrantes.

Des poinçons formant pendentifs reçoivent les abouts des fermes arêtières. Le plafond carré et horizontal 6-7-8-9 répond aux horizontales les plus élevées des voûtes, et ses angles reçoivent les abouts des fermes qui répondent aux arêtes creuses.

Nous avons marqué en projection verticale sur cette figure les occupations des pièces qui s'assemblent les unes aux autres, et nous avons figuré les cours des liernes horizontales qui s'assemblent dans les fermes en suivant les horizontales des surfaces des voûtes et se pliant par conséquent aux arêtes saillantes et rentrantes qu'elles présentent.

CHAPITRE XVII.

SUITE DES COMBLES A SURFACES COURBES.

I.

COMBLES SPHÉRIQUES.

Les combles peuvent être sphériques extérieurement ou intérieurement. Dans le premier cas, ils sont dans la catégorie des dômes dont nous traitons au chapitre XXXII.

Dans le second cas, la forme sphérique intérieure n'est, le plus souvent, qu'une disposition destinée à recevoir un revêtement qui donne aux parois l'apparence de l'intrados d'une voûte, ou bien encore la forme sphérique doit être apparente en même temps à l'intérieur et à l'extérieur, ce qui donne lieu aux mêmes combinaisons; cas représentés planche LXIX. Les fig. 1 et 2 sont les projections de la combinaison la plus usitée.

Des couronnes $M N$, $M' N'$, formées de bois équarris circulairement, sont soutenues par des parties de chevron $C C' C''$, qui s'y assemblent à tenons et mortaises (1), et dont le système prend naissance sur la sablière circulaire, $S Z$. Les faces latérales de chaque chevron sont parallèles au plan méridien qui le partage en deux parties égales; sa face extérieure et sa face intérieure sont sphériques.

Les faces supérieures et inférieures des liernes qui forment des couronnes, sont des surfaces coniques; pour la première couronne $M N$, le profil de la lierne et le carré 1-2-3-4, formé de deux arcs 1-2, 4-3, qui appartiennent aux grands cercles méridiens de la surface intérieure et de la surface extérieure, et de deux lignes droites 4-1, 3-2 parallèles au rayon $O N$. Le point N étant un de ceux qui partagent en parties égales l'arc méridien de la voûte, et qui déterminent les emplacements des

(1) Nous n'avons point marqué les tenons et mortaises de ce système de voûtes sphériques, parce qu'il ne présente aucune particularité, et que le but était seulement de montrer la combinaison des bois.

liernes, les lignes $a-4$, $a-3$ sont les génératrices des surfaces coniques supérieures et inférieures du cours de lierne MN ; les sommets de ces surfaces coniques sont aux points a , a' .

On fait les cours de liernes continus en forme de couronnes, les parties de courbes qui les composent sont assemblées par des joints bout à bout, distribués entre les assemblages des chevrons pour être supportées par les fragments de chevrons qui sont au-dessous et porter ceux qui sont au-dessus, parce que cette combinaison est la seule qui permette d'assembler les bois à tenons et mortaises.

Si l'on faisait les chevrons montant de toute la hauteur de la voûte, il n'y aurait pas moyen d'y assembler les liernes à tenons et mortaises, on serait forcé de les assembler par entailles, ce qui n'aurait pas toujours la même solidité.

Tous les chevrons se réunissent au sommet de la voûte en s'assemblant dans un tronc de cône projeté horizontalement en C , par deux cercles concentriques, et projeté verticalement en 5-6-7-8; les deux côtés 5-6, 8-7, qui sont des génératrices du tronc de cône, tendent au centre O de la sphère. Dans quelques circonstances, ce tronc de cône qui est un noyau d'assemblage, se prolonge en poinçon lorsque la charpente sphérique se combine avec une toiture autre que son extrados (1).

II.

COMBLES ELLIPSOÏDAUX.

Les combles ellipsoïdaux sont employés dans les mêmes circonstances que les combles sphériques, soit pour présenter à l'extérieur leurs formes surbaissées et surhaussées, soit pour donner à l'intérieur l'apparence d'une voûte ellipsoïdale. Dans le premier cas, on les traite comme des

(1) La figure 3 est une équerre servant à s'assurer de l'exact équarrissage des liernes circulaires.

Dans les figures 4 et 11, l'équerre se trouve présentée sur le profil d'une lierne.

La figure 10 est un calibre taillé suivant un arc de grand cercle de la sphère intérieure, servant à guider le charpentier pour creuser les liernes et les chevrons exactement suivant cette surface.

La fig. 12 est un autre calibre taillé suivant la courbure de la surface extérieure pour guider dans le léger arrondissement à donner aux faces externes des liernes et des chevrons.

La figure 13, pl. LXX, est un fuseau très-commode pour vérifier la courbure des surfaces creuses, et la fig. 14 est un autre fuseau pour vérifier la courbure des surfaces convexes, tant des liernes que des chevrons; ces fuseaux sont faits sur le tour, et dans quelque position qu'on les présente, ils doivent coïncider avec les surfaces sphériques.

dômes; dans le second, on les construit comme les combles sphériques.

Les constructions en charpente qui ont pour objet de présenter l'apparence d'une voûte sphérique ou sphéroïdale sont fréquemment couvertes par des toits coniques, forme qui s'accorde avec celle de la voûte, et qui permet d'employer des fermes rayonnantes autour de l'axe vertical commun aux deux surfaces; mais lorsque la charpente, qui donne intérieurement l'apparence d'une voûte ellipsoïdale, doit être couverte par un comble conique, il y a souvent quelques difficultés à combiner les bois de manière que les fermes satisfassent aux deux surfaces.

Les figures de la planche LXXIV ont pour but de présenter plusieurs combinaisons usitées en pareil cas.

La fig. 2 est le plan d'une salle elliptique qui doit être couverte par une voûte ellipsoïdale, celle-ci devant être abritée par un toit conique ayant pour base une ellipse égale à celle du plan. La fig. 1 est la projection verticale d'une ferme établie dans la direction du grand axe AB de l'ellipse.

Une autre ferme est établie suivant le petit axe, elle est projetée au plan de E en F . Cette ferme est représentée fig. 7.

Sur la droite, les fig. 1 et 2 présentent en projections une suite de fermes parallèles à celle établie suivant le petit axe.

Chacune de ces fermes présente, pour la voûte, un arc en ellipse, résultant de sections faites dans l'ellipsoïde par les faces verticales du cintre de la forme, et pour la surface du toit, des sections hyperboliques. La fig. 8 est une projection verticale de la ferme MN , fig. 2, construite dans cette hypothèse.

Sur la gauche, les mêmes fig. 1 et 2 présentent un système dans lequel des fermes, comme celles PQ , fig. 2, établies dans des directions normales à l'ellipse du plan, viennent s'assembler dans une grande ferme. Les arcs de ces fermes sont des arcs d'ellipse, et leurs profils supérieurs dans le toit sont encore des arcs d'hyperboles faciles à construire. Dans l'un et l'autre système, les pannes peuvent porter, comme de coutume, sur les fermes, par cours elliptiques horizontaux; ces pannes, suffisamment rapprochées, reçoivent immédiatement les planches du lattis, qui sont clouées de façon que le fil du bois est dirigé suivant les génératrices du cône. À l'intérieur, les termes peuvent rester apparentes, et, dans ce cas, on cloue les planches de revêtement dans les rainures entaillées sur les arêtes des arcs.

Dans la fig. 6, on suppose que le plan de l'espace à couvrir est un ovale formé de quatre arcs de cercle $pm, mp', p'm', m'p$, tracés des centres $cq, c'q'$.

Le profil de la voûte, fig. 5, est une anse de panier décrite des centres

x et z . L'intrados de la voûte, près de la naissance, est formé de quatre surfaces de révolution engendrées par une partie de l'arc de cercle ab , tournant successivement autour des axes verticaux passant par les points c , q , c' , q' , et d'une calotte, telle que toute section faite par un plan vertical rsq' , passant par un axe q ou q' , soit un arc de cercle dont le centre se trouve sur une verticale comprise en s dans un plan vertical qui a pour trace le grand axe AB , et soit tangent à l'arc générateur de la surface de révolution de la naissance.

Cette génération, qui a une apparence de complication, a l'avantage que, dans la pratique, on n'a point d'ellipses à construire, surtout si l'on dispose les fermes comme elles le sont du côté CB , sur la projection horizontale, de préférence à la disposition indiquée sur la gauche de la figure, parce qu'on n'a que des arcs de cercle à tracer, puisque les plans verticaux, milieux des fermes, sont des méridiens qui ont servi à la construction de la surface.

La fig. 3 et 4 sont les projections des deux autres combinaisons employées pour couvrir le même espace elliptique.

On suppose ici que la voûte, comme la toiture, sont percées par une lanterne elliptique, qui est, quant au rapport de ses axes, semblable à l'ellipse des sablières.

Sur la gauche, les fermes sont disposées comme seraient celles d'un pavillon rectangulaire, c'est-à-dire, que deux fermes principales MN (1) sont établies sur les diagonales CD , du rectangle formé sur les demi-axes. Ces fermes reposent sur les sablières, et s'assemblent dans la couronne de la lanterne; elles reçoivent chacune l'assemblage de deux systèmes de fermes PR , QR parallèles à celles HI , JL , établies sur les axes et qui se font équilibre des deux côtés, comme les chevrons dans les croupes des combles plans. Si le comble n'était pas percé par une lanterne, les fermes MN et les fermes HI , JL , s'assembleraient dans un poinçon au centre C .

Sur la droite, dans la même figure, les fermes UV sont toutes indépendantes; elles sont sur les rayons partant du centre. Les arcs de ces fermes sont elliptiques; elles ont toutes un même axe vertical; leurs axes horizontaux sont égaux aux rayons; leurs arbalétriers sont droits, et coïncident avec les génératrices de la surface conique du toit.

Cette combinaison est la plus simple et la plus facile, surtout lorsqu'on veut que le revêtement de l'intérieur de la voûte présente des compartiments en caissons, comme ceux que nous avons projetés horizontale-

(1) Si ce système était représenté en entier sur le plan, il y aurait quatre fermes MN

ment sur un quart du plan, fig. 4, et verticalement dans toute l'étendue de la coupe, fig. 5.

Monge a appliqué à l'ellipsoïde sa théorie des lignes de courbure des surfaces. Nous donnons ici, fig. 9, une réduction de celle qu'il a donnée dans le *Journal de l'École Polytechnique*, pour la projection horizontale des lignes de courbures de l'ellipsoïde, et fig. 10, la projection verticale des mêmes lignes sur le plan passant par le grand axe ab de l'ellipse horizontale. Nous ajoutons à ces deux projections celles des mêmes courbes sur le plan vertical passant par le petit axe dc de l'ellipse horizontale.

Les lignes de courbures se coupent sur la surface, où elles sont tracées à angles droits; elles forment, par conséquent, des compartiments rectangulaires dont l'aspect est complètement satisfaisant. Ce système de divisions de la surface de l'ellipsoïde convient très-bien à la construction d'une voûte en pierre de taille; la construction d'une voûte en charpente, suivant le système des lignes de courbures, ne présenteraient point de difficulté d'exécution; les fermes seraient établies suivant les lignes de courbures mpm , nqn ; les liernes qui suivraient les directions de courbes xz , xz , les rencontreraient à angles droits, ce qui rendrait les assemblages faciles; mais on ne peut disconvenir qu'il y aurait un grand déchet de bois, à cause de la courbure de toutes les pièces, et le travail serait d'une grande longueur, ce qui rendrait fort cher ce mode de construction, que Monge, au surplus, n'a point proposé pour les charpentes. Quoique les autres systèmes soient moins dispendieux, il nous a paru utile d'examiner jusqu'à quel point celui-ci est exécutable. Il serait à désirer qu'au moins, par curiosité, on exécutât une voûte ellipsoïdale en charpente, suivant ce beau système d'assemblage des bois et de compartiments pour la décoration intérieure des voûtes.

III.

COMBLES CONIQUES.

§ 4. *Comble conique sur un seul poinçon.*

Les combles coniques sont ordinairement employés pour couvrir des espaces circulaires, et notamment des tours, comme on en voit à quelques châteaux anciens.

Dans ce cas, le comble est un cône droit ordinairement à base circulaire, comme celui représenté fig. 2, pl. LXXII, en projection horizontale.

Les espaces circulaires contenant des galeries circulaires aussi et comme annulaires, sont couverts par des combles coniques à deux égouts, l'un intérieur, formé par une surface conique, concave du côté de la cour intérieure, l'autre extérieur formé par une surface conique convexe. Un comble de cette sorte est projeté horizontalement fig. 3, planche LXXII.

Les fig. 1, 2, 3 et 4 de la planche LXXI, présentent, en projection verticale et horizontale, les détails de la construction d'un comble conique.

A droite, fig. 2, est la projection horizontale de l'enrayure au niveau des sablières. Sur la même enrayure sont figurés les tenons d'assemblage de la petite enrayure dans les chevrons, à moitié de la hauteur du toit. La partie à gauche, fig. 4, représente la projection horizontale de l'extérieur de la charpente du toit.

La fig. 1 est le profil d'une ferme avec les coupes des liernes $M' N' O'$. La fig. 3 est la projection verticale ou élévation de la charpente extérieure et complète (1).

Le dessin explique suffisamment, fig. 3 et 4, les dispositions des chevrons et des liernes, sans qu'il soit besoin d'un plus long détail.

La fig. 5 est la projection verticale du poinçon central dans lequel viennent s'assembler les chevrons à tenons et mortaises avec abouts d'embranchement.

La fig. 6 est la projection verticale d'un poinçon de même espèce, au sommet duquel la pointe conique a une saillie suffisante pour affleurer le lattis en planches, formant la surface de la toiture.

La fig. 7 est le sommet du poinçon, les chevrons y étant assemblés et le lattis n'étant point posé.

La fig. 10 est une projection de trois chevrons sur un plan tangent au comble conique. Le point s est le sommet du cône; le point a , le pied du chevron; de façon que $s a$ est égale à $s a$ de la fig. 3, et cette ligne $s a$ est la génératrice de contact du plan tangent et du cône; pour éviter la confusion, la ligne $s a$ et les arcs de cercle qui contiennent les pas des chevrons sur la sablière, ont été d'abord projetés à droite, fig. 8.

Nous avons indiqué sur la fig. 10 les opérations pour projeter sur le plan tangent les lignes de milieu et les épaisseurs des chevrons; pour établir la projection de ces chevrons, on opère absolument de la même manière que pour projeter à la herse (tome I^{er}, page 569).

b est la projection à la herse du centre de la base du cône. $m b$, $n b$ sont les projections à la herse des traces des plans milieux des chevrons sur le

(1) La figure 22 est le profil d'un assemblage des chevrons dans la sablière, qui est préférable à celui qu'on fait ordinairement, en ce que la sablière porte un rebord pour recevoir les planches du lattis.

plan des sablières, et les lignes dm , dn sont les traces des plans tangents aux faces des chevrons sm , sn ; en ag est l'about du chevron sa .

La fig. 8 présente en projection horizontale la répétition d'une partie de la fig. 2, comprenant trois chevrons sm , sa , sn . La première lierne est projetée horizontalement en M et verticalement en M' .

En P et en P' sont la projection verticale et la projection horizontale de la pièce de bois droite et équarrie capable de cette lierne courbe, les longueurs de ses tenons comprises. Les rectangles circonscrits aux projections M et M' de la lierne portent les mêmes chiffres que les rectangles P et P' .

La fig. 17 représente la position d'une lierne courbe dans la pièce équarrie.

Après que la lierne M est taillée suivant sa courbure, elle est présentée en M sur la herse, fig. 10, et tournée de façon que les lignes génératrices du milieu de ses faces coniques répondent à la ligne sa et lui soient perpendiculaires. Dans cette position, les assemblages par entailles avec les chevrons sont piqués suivant les procédés que nous avons indiqués chapitre IX. Lorsque ses entailles sont faites, elles présentent la forme projetée horizontalement fig. 11, et en profil suivant la ligne xy .

La fig. 6 de la planche LXXII est le profil d'un comble conique couvrant une voûte sphérique.

La fig. 8 de la même planche est le profil d'un comble conique couvrant une voûte circulaire en ogive; le poinçon formant un pendentif dans l'intérieur.

Les épures de ces combles doivent être traitées de la même manière que celle dont nous avons parlé plus haut.

Une moitié de voûte conique est quelquefois substituée à une croupe pour terminer l'extrémité d'un toit, comme on le voit fréquemment aux combles des églises. Cette sorte de croupe conique est représentée en D , fig. 9, pl. LXXI, et fig. 29, pl. LXXVI. Des portions de surfaces coniques peuvent aussi former des croupes avec arêtières, ainsi que les fig. 28 et 36 de la même planche en offrent deux exemples.

§ 2. Comble conique avec faitage circulaire.

Les combles coniques à deux égouts, comme celui projeté fig. 3, pl. LXXII, ne sont employés que sur des bâtiments d'une grande étendue qui entourent des cours circulaires. Leur construction nécessite des fermes comme celles des bâtiments ordinaires; au lieu d'être parallèles, elles sont établies sur des rayons qui tendent au centre de l'édifice. La fig. 13 est la projection horizontale d'une portion de comble conique

de cette espèce. Les fermes sont établies en G, G, G , elles tendent au centre C . L'une de ces fermes est projetée verticalement, fig. 9. Vu l'étendue du comble, chaque ferme est composée, comme pour les toits ordinaires, de deux arbalétriers pour porter les pannes qui soutiennent les chevrons.

Ces pannes sont équarries et circulaires comme le bâtiment; elles sont marquées en P et P' au profil de la ferme fig. 9, et deux parties de ces mêmes pannes sont projetées au plan également en P et P' .

Nous aurons occasion de revenir sur les détails de l'épure fig. 8, 9, 12 et 13 de cette planche, lorsque nous traiterons des noulets dans le chapitre suivant.

IV.

COMPARTIMENTS ET CAISSONS DANS LES VÔUTES EN CHARPENTE.

Lorsqu'on veut que la charpente d'une voûte fasse une décoration intérieure, on distribue les pièces qui la composent suivant un système de compartiments, que l'on appelle *caissons*, parce que les pièces de bois qui marquent les divisions de ces compartiments et qui font autour de chacun d'eux des champs réguliers, sont saillantes sur les panneaux de remplissage qui n'affleurent pas les pièces de la charpente et forment ainsi des renfoncements ou caisses dans lesquelles on place des fleurons et des rosaces sculptés en relief.

On ne peut douter que les caissons dont on décore les voûtes en maçonnerie n'aient leur origine dans l'imitation des constructions en charpente.

Les caissons des voûtes cylindriques ou en berceau, sont égaux; dans les voûtes sphériques, dans les voûtes coniques et dans les plafonds circulaires, ils sont distribués par cours horizontaux et par divisions méridiennes.

Nous prendrons pour premier exemple la distribution des caissons dans une voûte en coupole sphérique.

§ 1. Caissons d'une coupole sphérique.

La condition la plus fréquemment adoptée pour la forme de ces sortes de caissons, c'est qu'ils doivent présenter sur la surface sphérique, chacun un carré dans lequel un cercle puisse être inscrit parce qu'ils sont ordinairement décorés de rosaces circulaires peintes ou sculptées, qui en occupent les milieux et les remplissent entièrement. Jusqu'au temps de la reconstruction de la coupole de la Halle au blé de Paris exécutée en fer en 1811,

on s'était contenté, lorsqu'il s'agissait de distribuer des caissons dans une coupole, de développer approximativement un fuseau de sphère, comme font les géographes constructeurs de globes, compris entre les cercles tangents aux caissons de tous les étages, et dans ce fuseau on faisait la distribution des caissons en traçant depuis la naissance des compartiments jusqu'au dernier rang de caissons, des cercles tangents entre eux et aux deux courbes tracées par points et marquant la largeur du développement approximatif du fuseau sphérique.

C'est cette méthode qui est décrite dans les traités d'architecture ; c'est de cette manière aussi que Rondelet a tracé sur le papier les caissons du dôme du Panthéon, en se servant cependant, pour tracer les fuseaux verticaux sur les parois de la voûte exécutée, de l'ombre d'un fil à plomb suspendu au sommet et dans l'axe de la coupole (1). Ce procédé pratique fort ingénieux n'est applicable qu'à une voûte en pierre, et exécutée. Pour une voûte en charpente, il faut que l'épure donne, avant l'exécution, la distribution des caissons, afin que les bois soient distribués en conséquence.

Lors de la construction de la coupole en fer de la Halle au blé par M. Belanger, architecte des monuments publics, M. Brunet, ancien entrepreneur de travaux publics, a publié (2) une exposition des calculs qu'il a faits pour déterminer les dimensions des grands châssis en fer formant les voussoirs ou caissons de cette immense coupole sphérique (3). Cet ouvrage contient deux nouvelles méthodes pour rendre les caissons réguliers ; l'une est une construction graphique assez compliquée par le moyen de la combinaison des grands cercles de la sphère, l'autre méthode est une application de la trigonométrie sphérique, et donne lieu à des calculs fort longs.

Je ne décrirai ni la méthode ancienne, ni celles de M. Brunet, la première étant inexacte puisqu'elle donne au plus des développements approximatifs et des courbes décrites par points, celles de M. Brunet donnant lieu à des tracés et des calculs très-laborieux, comme il le reconnaît lui-même ; et je donnerai ici une méthode fort simple, que j'ai déduite de considérations de géométrie descriptive à la portée de tout le monde.

Soit fig. 1, pl. LXXV, $a b d$, le grand cercle horizontal de la naissance d'une voûte sphérique, $a s s d$, fig. 2, le grand cercle vertical de la coupe de sa surface.

Si l'on conçoit deux plans verticaux dont les traces horizontales soient $c m, c m$. Ces deux plans traceront dans la coupole sphérique deux grands

(1) *Art de bâtir*, t. 2, p. 187, pl. I.

(2) In-fol., Paris, 1809, chez F. Didot, imp.-lib.

(3) Son diamètre est de 120 pieds 10 pouces 5 lignes 8 points (39^m, 27).

cercles méridiens. Que l'on conçoive encore une sphère projetée verticalement en G , et horizontalement en g , de sorte qu'elle soit tangente aux deux plans verticaux.

Que l'on fasse mouvoir cette sphère de façon qu'elle s'éleve au-dessus de sa première position sans cesser d'être tangente aux deux mêmes plans; son centre parcourra la verticale GG^2 , fig. 2, projetée sur le point g , fig. 1. Que l'on suppose encore qu'ayant l'œil placé au centre C , on aperçoive la sphère mobile sur la verticale GG^2 au travers de la coupole supposée transparente; en quelque point qu'elle se trouvera, son image sur la surface sphérique de la coupole sera un cercle tangent aux deux grands cercles méridiens. Ou, ce qui est la même chose, en quelque point que soit la sphère mobile, on peut supposer qu'elle est enveloppée par un cône ayant son sommet en C ; ce cône sera tangent aux deux méridiens, et son intersection avec la surface intérieure de la coupole sera un cercle également tangent aux cercles méridiens.

Il en sera de même d'une petite sphère g , fig. 1 et 2. Cette considération suffit pour tracer rigoureusement la distribution des caissons dans la surface de la coupole.

Ayant déterminé par une horizontale hh la hauteur où doit commencer la première rangée de caissons, par le centre C je trace la ligne $Ch t$; je fais sur le plan horizontal la distribution des méridiens qui marquent les emplacements des caissons et des champs ou bandes lisses qui doivent les séparer. J'ai supposé que la circonférence du dôme comportait vingt-quatre caissons. De cette distribution résultent les traces des méridiens $cm, cm, cm', cm', cm'', cm''$, etc.

Sur la projection horizontale, je trace le cercle qui est la projection de la sphère mobile mm , et sur la projection verticale, je trace en G le même cercle, projection de la même sphère dont le centre est sur la verticale GG , et qui est tangent à la ligne $Ch t$; la rencontre de sa deuxième tangente Cv avec le grand cercle, profil de la coupole, détermine de h en t la hauteur du premier rang de caissons.

Ayant rapporté en Cn et Cn , fig. 1, les deux méridiens qui marquent la largeur du champ de séparation entre les caissons, je trace en g un petit cercle qui est la projection d'une sphère ayant son centre dans la même verticale projetée en g , et qui est tangent aux deux méridiens cn, cn . Sur la projection verticale je trace aussi en g un petit cercle du même rayon qui a son centre sur la verticale GG , et qui est tangent à la ligne Cv ; ce petit cercle est la projection de la petite sphère tangente aux méridiens cn, cn , et dont le centre peut se mouvoir de même sur la verticale GG^2 .

La tangente Ct à cette petite sphère marque, par sa rencontre avec le

grand cercle vertical de la coupole, la largeur $i h'$ du champ qui doit séparer le deuxième cours de caissons du premier.

Pour déterminer la hauteur du deuxième rang de caissons, je trace le cercle G' tangent à la ligne $C t'$, son centre étant sur la verticale $G G^2$; la tangente $C v'$ marque la hauteur du second rang de caissons.

En traçant ainsi et alternativement des cercles $g', G^2, g^2, G^3, g^3, G^4, g^4, G^5$ et leurs tangentes communes $C t^2, C v^2, C t^3, C v^3, C t^4, C v^4, C v^5$, on a en h, i, h', i', h'', i'' , etc., sur le grand cercle, profil de la coupole, les hauteurs des caissons et des champs qui les séparent déterminées par ces tangentes. Des cercles horizontaux passant par ces points, dessinent par leurs combinaisons avec les méridiens, les caissons et les champs qui les séparent avec une exactitude parfaite.

C'est par cette méthode aussi simple que rigoureuse que j'ai déterminé les caissons projetés verticalement et horizontalement dans la coupole fig. 1 et 2.

Cette distribution détermine les emplacements et les dimensions des chevrons méridiens et des cours de lierne qui forment les caissons, et qui reçoivent les panneaux, lesquels font le remplissage de la voûte et sa décoration.

Sur la gauche, dans les deux fig. 1 et 2, nous avons supposé une construction en charpente, et sur la droite, une construction en pierre.

§ 2. Caissons d'une voûte circulaire en ogive.

La fig. 3, pl. LXXV, est le profil d'un dôme en ogive; les arcs de cercle $x x'$, générateurs de la surface, ont leurs centres en o' et o . La fig. 4 est un fragment de son plan. Le point c est la projection horizontale de l'axe vertical $c x'$ du dôme. Les constructions, tracées sur ces deux figures, font voir comment la méthode s'applique à cette forme de voûte; la division de la circonférence du dôme a fixé les angles que font les méridiens $c m, c m$ pour marquer la largeur $a a$ des caissons, et ceux $c n, c n$ pour celle $b b$ des champs qui les séparent; les cercles $m m, n n$, dont le centre commun est au point y , sont les projections des sphères mobiles sur la verticale $G G'$, fig. 3, et tangentes aux méridiens.

Le premier cercle G , fig. 2, est assez élevé pour que, ayant tracé aussi la ligne $G o$ et la tangente $s t$, le champ $x y$ au-dessous du premier rang de caissons soit assez large; la tangente $s v$ détermine dans la voûte la hauteur $y z$ du premier rang de caissons.

Le cercle m', m' , fig. 3, décrit du centre o , doit être tangent aux lignes $s m', s m'$, prolongements des tangentes $s t, s v$.

Ayant décrit d'un point quelconque de la ligne $C G'$, un cercle g égal

au cercle nn de la fig. 4, projection horizontale de la petite sphère; je joins le centre de ce cercle au centre o , et par le point s' , où cette ligne coupe l'axe vertical, je mène des tangentes à ce cercle; ces tangentes prolongées déterminent le diamètre d'un cercle dont le centre doit être en o ; c'est le petit cercle $n'n'$.

Maintenant, par le point z , je mène une tangente nn' au petit cercle $n'n'$, et je trace le cercle y , tangent à cette ligne, son centre étant sur $G'G'$ (1), sa tangente $s'u'$ marque la largeur du champ zr sur le profil de la voûte. Je trace ensuite au cercle $m'm'$ la tangente $m's'r$ prolongée jusqu'en t' ; le cercle G' est tangent à cette ligne; la ligne $G'o$ étant tracée, sa tangente $s''n'$ détermine la hauteur $r'q$ du second rang de caissons. On pourrait continuer ainsi pour tel nombre de rangs de caissons et de champs que la voûte en comporterait.

Les cercles horizontaux, passant par les y, z, r, q , etc., détermineront en rencontrant les méridiens, les caissons séparés par des champs, et ces caissons pourront recevoir des ornements circulaires également distants de leurs bords.

§ 3. Caissons d'une voûte cylindrique.

La fig. 5, pl. LXXV, est le profil d'une voûte cylindrique; la fig. 6 est sa projection horizontale. Ces deux figures font voir que ma méthode s'applique à la distribution des caissons dans un berceau cylindrique, quoique, dans ce *cas unique*, il ne soit pas nécessaire d'en faire usage.

§ 4. Caissons d'une voûte conique.

La fig. 7, pl. LXXV, est la coupe d'un plafond conique, la fig. 8 est sa projection horizontale, les deux cercles mm, nn étant les projections des deux sphères qui conviennent à la division de la circonférence de la tour, par les méridiens qui marquent les largeurs des caissons et de leurs champs. Dans un point quelconque f , fig. 7, de la verticale sur laquelle doivent se mouvoir les sphères, on décrit deux cercles qui sont des projections de ces sphères; par ce point f , on trace une perpendiculaire fk au profil du toit conique. Elle rencontre en k l'axe vertical; de ce point on mène des tangentes aux deux cercles décrits en f .

C'est à ces tangentes que sont parallèles celles $s't, s't', s'u, s'u', s''v, s''v',$ etc., qui déterminent les positions des cercles y, y', y'' , et sur

(1) Ne voulant point tracer un sixième cercle pour l'explication de l'opération graphique, nous avons regardé le cercle y comme un cercle quelconque, quoiqu'il résulte de la construction.

le profil du plafond conique, les points y, z, v, q , qui marquent les hauteurs des caissons et les largeurs des champs horizontaux.

C'est par cette méthode que sont projetés les caissons dans les fig. 7 et 8.

§ 5. Caissons d'un pignon plan et circulaire.

La fig. 9, pl. LXXV, est la projection verticale d'un pignon circulaire formant l'extrémité d'un berceau cylindrique.

La fig. 10 est un fragment du plan. Ces deux figures sont relatives à la distribution des caissons et de leurs champs sur le pignon, de façon que, dans chacun des caissons et aux intersections de leurs champs, on puisse inscrire des cercles x et y tangents aux quatre côtés.

La fig. 11 fait voir, qu'ayant tracé l'angle $A C D$, qui résulte de la division des caissons, la diagonale $D e$, qui divise en deux parties l'angle $A D C$, donne le centre e du cercle tangent aux quatre côtés des caissons, que, de même les lignes $d e, d' e'$, parallèles à $D e$, donnant également sur la ligne $E C$ les centres des autres caissons. Les lignes $b e', b' e''$ parallèles à $B e$, donnent les mêmes centres.

§ 6. Caissons d'une voûte ellipsoïdale.

La fig. 12, pl. LXXV, qui est le profil d'une coupole surbaissée, et la fig. 13, qui est son plan, ont pour objet de faire voir que ma méthode s'applique également d'une manière simple à ce cas, qu'aucune autre méthode ne résoudrait sans tâtonnement. Les sphères G et g ont, comme précédemment, leurs centres sur la verticale $G G'$; leurs diamètres sont déterminés par les angles que font entre eux les méridiens Cm, Cm', Cn, Cn' , fig. 13; et les points y, z, v, q , sont déterminés sur le profil de la voûte par les tangentes à ces sphères, lesquelles tangentes le sont aussi aux courbes $F M, P M, Q M$, tracées d'avance; la première, $F M$, comme développée de l'ellipse du profil $A O B$; la deuxième, $Q M$, comme enveloppe de toutes les tangentes inférieures qu'on peut mener à une sphère G dans toutes les positions qu'elle peut prendre sur la verticale $G G'$, tangentes menées par les points où la ligne passant par le centre de la sphère, et normale à la courbe du profil, vient rencontrer l'axe. C'est ainsi que la ligne $G' s$, tangente à la développée de l'ellipse coupant l'axe en s , la tangente $s k$ est touchée par la courbe $Q M$.

La troisième courbe $P M$ est construite de même, par rapport à la sphère g se mouvant sur la verticale. Ainsi, la ligne $g s'$ est tangente à la développée de l'ellipse. Elle rencontre l'axe en s' , et la courbe $P M$ se trouve tangente à la ligne $s' i$, tangente inférieure du cercle g .

CHAPITRE XVIII.

NOULETS.

I.

NOULETS ENTRE TOITS PLANS.

§ 1. *Noulets droits débillardés.*

Lorsque deux combles de hauteurs inégales se rencontrent, leurs jonctions forment des arêtes creuses semblables à celle d'une noue, mais elles n'atteignent point le faite du comble le plus élevé. Ces arêtes creuses ont moins d'étendue qu'une noue, et, par cette raison, on leur a donné le nom diminutif de *noulet*, ainsi qu'aux pièces de bois qui leur correspondent.

La fig. 1, pl. LXIV, est la projection de la rencontre de deux combles formant des noulets, *a b, a d*.

On considère que le comble *A* le plus élevé, désigné par le nom de *grand comble*, est construit sans interruption, et que le petit comble *B* vient s'y assembler comme à plat-joint.

On conçoit que, pour soutenir les pannes et les chevrons du petit comble répondant au triangle *b a d*, et même les fragments des fermes ou fermettes, que l'étendue de ce triangle pourrait nécessiter pour soutenir la partie du toit qui lui correspond, il faut coucher sur le grand comble un système de pièces pour recevoir les assemblages des bois du petit comble et les soutenir.

Ce système est composé comme les fermes du petit comble, sinon qu'il est couché sur le grand comble, et il reçoit le nom de *ferme de noulets*.

Les fig. 2, 3 et 4 présentent les détails qui se rapportent à la *ferme de noulet* correspondant aux arêtes creuses *a b, a d* de la fig. 1, dans l'étendue du rectangle 1-2-3-4 ponctué.

La fig. 2 est une projection horizontale des détails de la partie de la fig. 1, comprise dans ledit rectangle ponctué 1-2-3-4.

La fig. 3 est une projection sur un plan vertical parallèle au faite *c d* du grand comble, fig. 1, ou à la ligne *b d*, fig. 2, qui est la ligne d'about des chevrons du grand comble.

La fig. 4 est une coupe ou projection sur le plan vertical parallèle à la ligne *f e*, fig. 1, après qu'on a enlevé le pan de toit de droite du petit comble pour laisser paraître la projection de sa charpente intérieure. Cette même fig. 4 représente en même temps le profil du grand comble et la partie inférieure d'une de ses fermes.

M N, fig. 2, est la projection horizontale d'une ferme du petit comble, celle qui est la plus rapprochée de sa jonction avec le grand comble. *b a d* est la projection horizontale de la ferme de noulet, couchée sur lattis du grand comble.

b a d, fig. 3, est en même temps la projection verticale d'une ferme *M N* du petit comble et la projection verticale de la ferme noulet *b a d*.

M F, fig. 4, est la projection de la ferme *M N*, et *b a* est la projection de la ferme noulet appliquée sur le grand comble (1).

En *M N*, fig. 2, et en *M F*, fig. 4, est une partie de ferme ou *fermette* du petit comble, qui s'assemble dans la ferme noulet pour soutenir les pannes, dont les portées entre la ferme *M N* et la ferme noulet *b a d* seraient trop grandes. Cette partie de ferme n'est que ponctuée dans la fig. 2, pour laisser voir ses assemblages dans la ferme noulet.

La ferme de noulet est composée des mêmes pièces que les fermes principales du petit comble; elle n'en diffère que par l'obliquité des faces de ses pièces.

La projection horizontale de la ferme noulet est aisée à construire, puisque les arêtes de toutes les pièces qui la composent sont les intersections des plans des faces d'assemblage de ses pièces avec les plans de ses faces de parement, qui sont parallèles au pan du grand comble.

Cette projection se déduit par conséquent de la ferme fig. 3 et de sa projection *b a*, fig. 4.

Les pannes et les chevrons sont indiqués dans la fig. 4. Nous les avons supprimés dans la fig. 2, pour éviter la confusion qui serait résultée de leur projection. Nous avons marqué, dans la projection de la ferme noulet, fig. 2, les tasseaux et les occupations des chevrons avec leurs mortaises.

La fig. 4 est la herse de la ferme de noulets. Cette herse est indispensable pour établir et piquer les bois et pour tailler les assemblages.

(1) Nous nous sommes conformé ici à l'usage des anciens charpentiers, en supposant que la ferme noulet est appliquée sur le plancher du lattis du grand comble. Mais nous pensons qu'il est préférable, comme nous l'avons fait dans les planches suivantes, d'appliquer la ferme noulet sur les chevrons du grand comble. Il est présumable que le premier usage qu'on a fait des noulets a été pour l'addition d'un bâtiment neuf à un vieux; car, dans les ouvrages des anciens charpentiers, le *grand comble* est toujours désigné sous le nom de *vieux comble*, et il est présumable que dans ce cas on conservait le lattis du vieux comble.

Cette projection en herse se déduit, quant aux largeurs, de la ferme fig. 1, et quant aux hauteurs, elles se mesurent sur le plan de la face de parement de la ferme ba , fig. 4, sur laquelle elles sont projetées par des perpendiculaires. Nous avons indiqué les profils de différentes pièces coupées par des plans perpendiculaires aux parements de la ferme de noue, et dont les traces sont ponctuées : ces coupes sont indispensables pour *débillarder* les différentes pièces qui entrent dans la composition de la ferme de noulets, avant de les établir sur les lignes de l'*éctelon*, pour piquer leurs assemblages.

Un détail de l'assemblage en N , fig. 2, de l'arbalétrier de droite de la fermette verticale $M N$ dans l'arbalétrier de droite de la ferme de noulets, est représenté dans le fragment d'épure, fig. 6.

N est la projection horizontale de l'arbalétrier de noue, dans lequel se fait l'assemblage. N' est la projection verticale de la même pièce sur le plan vertical, comme dans la fig. 4. M est la projection de l'arbalétrier de la fermette verticale assemblé dans l'arbalétrier de noue.

N'' est une projection en herse de ce même arbalétrier de noue sur le plan de la face de parement. On y a marqué le trait de l'occupation et l'embrèvement de l'assemblage avec sa mortaise.

m est une herse de l'arbalétrier de noue sur le plan du lattis du petit comble. Faute d'espace, et pour éviter la confusion des lignes, pour établir cette herse, la ligne d'about $b e$ a été reportée en $b' e'$.

La fig. 7 est une coupe de l'arbalétrier n , suivant la ligne $x y$, pour servir à son débillardement.

Dans la fig. 6, les lignes $g e, g' e''$, qui marquent les directions d'about de l'embrèvement, sont déterminées en faisant $b e$ et $b' e'$ égales à la ligne $b' e'$, la ligne $g e'$ étant la direction d'embrèvement perpendiculaire aux arêtes de la pièce n .

§ 2. Noulets creusés.

On peut éviter dans quelques circonstances la construction d'une ferme complète de noue, en établissant des noulets communs aux deux combles disposés comme les grandes noues, et qui reçoivent les assemblages des empanons des pans du grand comble et des pans du petit comble.

La fig. 1 de la planche LXV est la projection horizontale de deux chevrons de noulets, communs aux deux combles; la fig. 2 est une projection verticale en face, et la fig. 3 une projection verticale de profil, représentant ces mêmes noulets. Le faitage du petit comble s'assemble dans le chevron C qui répond à l'angle du sommet des noulets. Ce chevron sert en même temps de poinçon, pour les deux noulets qui s'y assemblent à embrèvement,

tenons et mortaises, avec un recouvrement par-dessus la face externe du chevron du grand comble. Les deux abouts des chevrons formant ce recouvrement sont projetés par le triangle 4-5-5', fig. 3, et par la ligne 4-5, fig. 1.

Ces noulets nécessitent, lorsqu'ils ont une assez grande étendue, une enrayure horizontale formée de deux coyers k, k' , appuyés sur les angles des murs à la réunion de deux bâtiments, et assemblés dans un tirant T du grand comble reçu dans un gousset G , assemblé entre les deux coyers.

Un entrait E du grand comble est reçu dans le petit entrait H assemblé dans les chevrons de noulets $a b, a' b'$.

La fig. 4 est une herse des deux chevrons noulets, traités comme des noues, formant assemblage avec le chevron C du grand comble en guise de poinçon, et un petit entrait H .

§ 3. *Noulets pour pannes.*

Les pannes étant les pièces de soutien immédiat des chevrons, j'ai représenté en projection horizontale, fig. 5, pl. LXV, en projection verticale de face, fig. 6, en profil, fig. 7, et en herse, fig. 8, une disposition dans laquelle les pannes des deux combles sont soutenues simultanément par deux pièces $P P$, que j'appelle *noulets de pannes*, et qui en reçoivent les assemblages.

Un tasseau T , assemblé entre deux pannes du grand comble, reçoit le faitage du petit comble.

On conçoit que les pannes des deux combles peuvent être assemblées de même dans les noulets, soit qu'on ne donne à ces noulets que quatre faces, soit qu'on leur creuse des arêtes de noue, comme celles représentées fig. 1, 2, 3, 4.

Les lignes $x y$, fig. 5 et 8, qui marquent les directions des joints des pannes du petit comble sur les pièces des noulets P , sont conclues des mêmes lignes, fig. 6. Le point y étant rapporté à la hauteur $v y$, fig. 7, la distance $u y$ est portée, fig. 8, et la largeur $u v$ est portée de u en y , fig. 5.

§ 4. *Noulets biais.*

Il arrive fréquemment que l'aile d'un bâtiment ne le joint point à angle droit. C'est le cas représenté, fig. 9, pl. LXV, il donne lieu aux noulets biais $a b, a d$. Les fig. 1, 2, de la planche LXVI donnent les détails de ces noulets dans l'étendue du quadrilatère 1-2-3-4, ponctué sur le plan fig. 9 de la pl. LXV.

La fig. 2 est la projection verticale d'une des fermes $m n$ du petit comble; elle est par conséquent aussi la projection verticale de la ferme de noulet $b a d$.

La ligne $b d$ étant la ligne d'about du grand comble, si l'on suppose que la ligne $C a'$, fig. 1, soit la trace d'un plan vertical coupant perpendiculairement le grand comble, et que l'on fasse tourner ce plan vertical autour de la ligne verticale projetée en C jusqu'à ce qu'il soit parallèle au plan de la projection de la fig. 2; $a a'$, étant la projection d'une horizontale du pan du grand comble, si l'on porte $C a'$, fig. 1, de a en a' , fig. 2, la droite $c' a'$ sera le profil du grand comble; la ligne $g' a'$, parallèle à $a a'$, marquant l'épaisseur que l'on veut donner à la ferme de noulet, et qu'on fait ordinairement égale à celle des autres fermes du petit comble. Il n'y a rien de plus aisé que de mettre cette ferme de noulet en projection horizontale, puisque les arêtes de ses pièces sont les intersections des plans des faces d'assemblage avec les deux plans parallèles qui ont $c' a'$, $g' a'$ pour profils, suivant la pente du grand comble.

Nous avons tracé en projection horizontale les fermes du petit comble en $m n$, $m n$ et même les portions de fermes ou fermettes de ce même comble qui ne peuvent être entières, parce qu'elles sont interrompues par le grand comble; ces fermettes $m' n'$, $m'' n''$, $m''' n'''$, $m'''' n''''$, $m''''' n'''''$, etc., ont leurs pièces assemblées dans les pièces homologues de la ferme noulet. Les occupations des divers assemblages sont marquées par des hachures ponctuées en projection horizontale. Pour marquer les mêmes occupations d'assemblage dans la projection verticale sur la ferme fig. 2, qui contient les projections de toutes les fermes et fermettes du petit comble, il suffit de rapporter les traces des faces verticales des fermes sur le plan de la face supérieure de la ferme noulet, parallèle au pan du grand comble.

Voici comment on opère pour tracer l'assemblage d'une de ces fermettes sur la fig. 2; par exemple, pour celle $m'''' n''''$.

Les points m'''' , p , n'''' , q de la fig. 1 sont mis en projections verticales sur les points désignés par les mêmes lettres, fig. 2. Mais pour s'assurer de l'exactitude de la position de la ligne $m'''' n''''$, fig. 2, il faut la prolonger jusqu'à la ligne horizontale, le point x de la fig. 2 doit correspondre verticalement avec le point x de la fig. 1, déterminé sur la ligne d'abouts $b d'$ par le prolongement de la ligne $m'''' n''''$. Toutes les autres lignes marquant les traces des faces des autres fermettes sur le plan d'assemblage avec la ferme du noulet, doivent être parallèles à la ligne $m'''' n''''$, fig. 2, comme elles le sont fig. 1.

Les abouts des chevrons des arbalétriers ou chevrons des fermettes doivent être perpendiculaires au plan de la ferme de noulet dans lequel les

assemblages ont lieu. Il faut donc pour tracer ces abouts en projection horizontale trouver les traces de ces plans perpendiculaires sur les pans du petit comble.

Par le point m''' soit menée une perpendiculaire au grand comble. Cette perpendiculaire est projetée en $m''' h$, fig. 1, et $m''' h'$, sur le profil du grand comble, fig. 2. Elle rencontre l'horizon en h , fig. 1, $m''' h$ étant égale à $r h$, fig. 2.

La ligne xy est la trace du plan perpendiculaire au grand comble passant par la ligne d'about $m''' n'''$; ce plan rencontre les lignes d'about du petit comble en u et v , donc les lignes $u m''' z$, $v n''' z$ sont les projections horizontales des traces sur le petit comble, du plan qui donne la direction des abouts en m''' et n''' , fig. 1.

La direction des abouts des courbes, tel que celui s , s'obtient en faisant correspondre dans la même ligne parallèle à l'axe du petit comble le point t' de la projection, fig. 1, avec le point t sur le plan de la ferme de noulet, fig. 2.

Nous ne donnons point la herse de ces noulets, parce qu'elle ne présente aucune difficulté qui ne soit déjà résolue.

§ 5. Petits noulets pour lucarne.

On donne aussi le nom de noulet aux petites pièces placées à la jonction des toits des lucarnes, avec les combles dans lesquels elles donnent issue à la lumière du jour.

La fig. 4, pl. LXVI, est la projection horizontale d'un comble dans lequel sont pratiquées les lucarnes B, B' , qui le rencontrent à angles droits et donnent lieu aux petits noulets droits $b a d$. La fig. 5 est le détail de la projection horizontale d'une partie du toit d'une de ces lucarnes qui est appliquée sur le grand toit; les chevrons également espacés sont projetés sur cette figure; la fig. 6 est le profil du grand toit par un plan vertical perpendiculaire à sa ligne d'about et par conséquent parallèle à la direction de la lucarne. Ce profil, qui a la même pente que la ligne $m n$, couchée sur le plan, fig. 5, présente en c un des chevrons, la coupe p de l'une des pannes sur lesquelles ces chevrons s'appuient, le plancher l du lattis du même grand comble. Sur ce même profil sont projetées les différentes pièces du toit de la lucarne qui joignent le grand comble. Nous avons rabattu sur le plan fig. 5, et tracé en lignes ponctuées une élévation $b a d$ de la fermette que forment deux chevrons du toit de la lucarne; $r r$ sont les sablières, q sont les chevrons; les petites pièces $a' b'$, $a' d'$, sont les noulets, f est le faitage. La fig. 7 est une herse du pan du toit $b A a' b'$ de la lucarne, après l'avoir fait tourner autour de

l'horizontale $A a'$ du faitage. La fig. 8 est une herse du pan de toit $d A a' d$ de la même lucarne, également après l'avoir fait tourner autour de la ligne $A a'$ du faitage. Ces deux pans diffèrent dans ce qui regarde la forme des pièces de noulet; dans le premier, nous avons supposé que le chevron du noulet $a' b'$ est débillardé de façon que deux de ses faces étant dans les plans parallèles du dessus et du dessous des chevrons de la lucarne, les deux autres faces sont parallèles au grand toit. De l'autre côté, nous avons supposé que le chevron noulet, qui a toujours deux de ses faces dans les plans du dessus et du dessous des autres chevrons, a une autre face perpendiculaire au plan du toit de la lucarne, et que sa 4^e face est en contact avec le plan du grand comble, ce qui lui donne quelque analogie avec les noues à faces normales dont nous avons parlé tome I^r, page 549. Les projections des abouts de ce chevron noulet sur la sablière sont tracées en les dirigeant sur le point h , fig. 5, où la normale au lattis, menée par le point o , rencontre le plan des sablières : le point h est déterminé par la ligne $o o$ prolongée.

La ligne $a' q$, dans les deux herses, qui marque la direction des coupes d'about du chevron noulet, est déterminée par la rencontre des lignes du faitage avec les arêtes du chevron noulet; mais plus exactement en projetant la ligne $a' A$, axe de la lucarne au niveau des sablières en $h q$ à la herse, fig. 7, ce qui donne la position des lignes de joint $a' q$.

Sur la croupe biaise d'un bâtiment A' , fig. 13, une lucarne B donne un noulet biais $b a d$. Ce qui précède et ce que nous avons exposé au chapitre XIV du tome I^r suffit pour faire comprendre cette épure.

La fig. 9 est la projection horizontale de la partie du toit de la lucarne qui comprend le noulet $b' a' d'$. La fig. 10 est la projection de la fermette de la lucarne avec le faitage et les sablières.

Les chevrons sont mis en projections horizontales et comme de coutume également espacés et participant au biais de la lucarne. De chaque côté nous avons figuré un empanon déversé et un empanon délardé.

La fig. 11 est une herse sur le plan du toit $A a' b' b$, qu'on a fait tourner autour de l'horizontale du faitage rapportée dans la position $A a'$ de la fig. 9.

La fig. 11' est la même projection sur le plan qu'on a fait tourner autour de la ligne $b a$ de la fig. 10. La construction de ces deux figures a pour but de faire voir que bien que quelques charpentiers préfèrent la méthode de l'une à celle de l'autre, elles conduisent au même résultat. Il en est de même des fig. 12 et 12', l'une représentant la herse du pan $A a' d' d$, qu'on a fait tourner autour de la ligne du faitage, l'autre représentant la même herse qu'on a fait tourner autour de la ligne $a d$, fig. 10. Elles font voir que les deux méthodes donnent également des herses qui sont identiques.

§ 6. Noulets pour pans coupés dans les combles.

On fait quelquefois aux angles des bâtiments des pans coupés, qui ont assez d'étendue pour interrompre les arêtiers et même les noues des combles.

Les fig. 1 et 2 de la planche LXVIII montrent chacune deux bâtiments *A, B*, dont la jonction formerait un angle trop aigu, qu'on a supprimé par un pan coupé *b d*. Ce pan coupé pourrait, par son étendue, exiger l'établissement de deux arêtiers *a b, a d*, fig. 1^{re}, mais le plus souvent ces pans n'ont point assez d'étendue pour motiver la dispendieuse construction de deux fermes arêtières, et l'on doit se décider à ne faire que des arêtiers partiels, *a b, a d*, fig. 2, en ne faisant point monter le pan coupé du toit coupé jusqu'à sa sommité.

Ce que nous venons de dire pour un pan coupé d'arêtier s'applique aux pans coupés de noue *b d*, fig. 1 et 2.

La même planche contient deux épures qui présentent deux moyens de construction suivant l'étendue qu'il s'agit de donner au pan coupé.

Le plan et la projection verticale, fig. 3 et 4, se rapportent au cas où l'on peut ne donner qu'une médiocre étendue au pan coupé du toit. La ferme arêtière qui aboutirait à l'angle *G* est conservée, mais on suppose qu'on a choisi pour la jambe de force *F* de cette ferme une pièce de bois assez courbe vers son pied pour rentrer son assemblage sur le tirant *T*, qui est raccourci de façon que cet assemblage se trouve à plomb du parement intérieur du mur du pan coupé, ce qui permet de couper au-dessous de la première panne *P* le chevron arêtier *H*, par un engueulement dans lequel on appuie deux bouts de chevrons arêtiers *a, a*, qui reçoivent autant d'empanons *b, b'* qu'il est nécessaire de leur en assembler : nous avons supprimé celui du milieu du pan coupé pour laisser voir l'arête creuse *4-4'*, fig. 4, dans laquelle son déjoutement est reçu.

Si l'on ne peut point se procurer une pièce courbée dans son extrémité inférieure, on peut employer pour la jambe de force une pièce droite qu'on assemblera dans le tirant à la même place; la face supérieure de cette pièce est projetée par la ligne *m n*, fig. 4; nous avons tracé, fig. 5, comment il faut alors disposer le tasseau *t*, la chantignole *g* et une cale *k* pour maintenir la panne *P'* dans la situation qui convient au soutien du chevron arêtier *H*, comme nous l'avons déjà fait, planche LX, et décrit ci-dessus.

La fig. 6 est un profil du grand comble couché à droite.

Nous avons représenté en projection horizontale, fig. 7, et en projection verticale, fig. 8, une disposition applicable au cas d'un pan coupé d'une grande étendue. La fig. 9 est le profil d'une des fermes du comble dans lequel on a établi ce pan coupé.

La principale ferme arêtière répondant à la ligne $A'G$, fig. 7, et à la ligne $A'G'$, fig. 8, est soutenue sur son tirant T par une jambe de force F , fig. 8 et 9, dont l'assemblage dans ce tirant est reculé en dedans du bâtiment, cette jambe de force reçoit en f , fig. 8, l'assemblage de deux *jambes de force empanons* f, f , fig. 7, qui portent par l'assemblage de leurs pieds dans deux coyers k reçus en assemblage par le tirant T .

La jambe de force F n'est délardée que dans sa partie supérieure pour recevoir les assemblages des *jambes de force empanons* f .

Ces *jambes de force empanons* soutiennent le cours des trois pannes $P\rho P$.

Le grand chevron arêtier H de la ferme principale est coupé comme celui de la figure précédente par une entaille en engueulement qui reçoit les chevrons d'arêtier partiels exactement comme dans la première hypothèse des fig. 3 et 4.

Nous avons marqué sur les sablières les pas des empanons et des petits arêtiers, et les assemblages à tenons et mortaises des chevrons de ferme, et du chevron du milieu du pan coupé.

La fig. 10 est un détail de la portée des pannes dans les arêtiers qui eût été confus dans la fig. 8.

II.

NOULETS ENTRE SURFACES COURBES ET SURFACES PLANES.

§ 1. *Noulet d'une sphère contre un pan de bois vertical.*

La figure 1, planche LXIX, présente la projection verticale, et la fig. 2, la projection horizontale de la charpente intérieure d'une coupole sphérique. Cette coupole est interrompue par le parement vertical d'un mur ou d'un pan de bois vertical AB , fig. 1, $B'B$, fig. 2.

Le noulet sphérique peut être compris en dehors ou dans l'épaisseur du pan de bois : c'est dans cette dernière position que nous l'avons supposé dans l'épure; il est représenté dans la projection horizontale entre les deux traces des parements du pan de bois, ses pas sur la sablière de la voûte sphérique sont en B et B' , sa coupe par le méridien de la sphère, qui a la ligne CD pour trace, fig. 2, est hachée ponctuée en D , fig. 1. Une projection de ce noulet sur le parement du pan de bois est couchée à droite, fig. 6. Les courbes qui le dessinent sont des demi-cercles résultant des sections faites dans la sphère par les plans des parements du pan de bois. Nous avons tracé les occupations et assemblages des chevrons de la sphère en d, d, d . Elles sont marquées par des verticales qui sont les intersections des faces des chevrons avec le pan de bois; nous avons

aussi marqué en n et n les occupations et assemblages de la lierne MN . Les courbes qui les limitent font partie des hyperboles résultant de la section des surfaces coniques de cette lierne par le pan de bois.

§ 2. Noulet entre une sphère et un comble plan.

La figure 7, pl. LXIX, présente le profil ou coupe d'une coupole sphérique, la fig. 8 est une projection horizontale des liernes; nous n'avons point marqué dans la fig. 7 les projections des chevrons en projection verticale, parce qu'elles sont inutiles à l'épure, nous les avons indiquées en lignes ponctuées sur la fig. 8. AB , fig. 7, est le profil du toit plan du grand comble, ses chevrons aboutent sur une sablière S .

Le noulet sphérique DE , appliqué sur le plan du grand comble, est profilé en D par le méridien de la sphère parallèle au plan de projection verticale, ses abouts sont en E, E , sur la projection horizontale; l'ellipse EDE ponctuée sur la projection horizontale est la projection du cercle résultant de la section faite par le plan du toit du grand comble dans la surface extérieure de la coupole.

On ne marque point dans la fig. 8 la projection complète du noulet, parce qu'elle est inutile pour sa description comme pour son exécution.

Ce noulet est représenté en herse, fig. 9, c'est-à-dire, qu'il est projeté sur le plan du grand comble rabattu à gauche sur l'épure. Nous y avons marqué en d, d', d'', d''' , les occupations et les mortaises pour les cinq chevrons de la coupole qui s'y assemblent, et en n les occupations et mortaises du cours de lierne MN , qui se trouve comme précédemment limité par des courbes qui font partie des hyperboles résultant de la section des surfaces coniques de la lierne par les plans du grand comble. En $d'd'$, fig. 7, nous avons représenté sur un profil de la coupole, qui est aussi le profil des chevrons, les coupes de ces chevrons correspondant aux assemblages $d'd''$ de la herse du noulet, fig. 9.

Les règles x, y , représentées par leurs bouts, fig. 7, servent dans l'exécution de la charpente, en bornoyant leurs arêtes 1 et 2, après qu'on les a convenablement établies, à piquer les coupes des bouts des liernes pour tracer leurs assemblages, parce qu'on ne peut pas les combiner en herse avec le noulet. Nous n'avons point marqué les projections des tenons des chevrons et des liernes, parce que leur tracé en exécution ne présente aucune difficulté.

Si la sphère que forme la coupole ne doit pas être interrompue, c'est alors le toit d'un grand comble qui porte le noulet par lequel il se termine sur elle.

En G , fig. 7, dans le profil du grand toit, nous avons marqué la coupe

de ce noulet, et la fig. 5 le présente projeté en herse avec les chevrons du grand toit qui viennent s'y assembler.

§ 3. *Noulet entre un toit plan et un toit conique.*

La fig. 9, pl. LXXI, représente en *b a b* la projection horizontale d'un noulet conique sur un comble plan.

Cette combinaison n'a jamais lieu sans que l'intérieur de la tour et le toit conique qui la recouvre restent intacts, et dans ce cas, le noulet fait partie du toit plan. La fig. 5, pl. LXXII, est le profil d'un comble à deux égouts plans. La fig. 6, portant deux cours de pannes *P, Q*, compris dans l'épaisseur des arbalétriers, est le profil d'un comble conique droit à base circulaire, projeté horizontalement, fig. 10. Le noulet plan *A B*, qui embrasse la surface conique, est projeté dans l'épaisseur des arbalétriers *T* du toit plan, sa coupe au sommet apparaît en *A*, l'un de ses pas est marqué en *B*, fig. 10. Nous n'avons point fait sa projection horizontale sur la fig. 10, vu qu'elle n'est point nécessaire pour son exécution, mais nous avons construit, fig. 14, sa projection en herse *A B*, indispensable pour tailler la courbe qui le compose. Cette herse comprend celle de l'arbalétrier *T* d'une ferme et du chevron qui s'assemble dans le noulet, celle des pannes *P, Q*, et celle des chevrons *b b*. Les courbes que donne la projection du noulet en herse sont planes et figurées suivant leurs véritables formes et grandeurs, elles sont des ellipses, des paraboles ou des hyperboles, suivant la pente du toit plan. On les obtient par des plans horizontaux qui coupent en même temps le cône suivant des cercles, et le grand comble suivant des lignes droites horizontales.

§ 4. *Noulet en impériale.*

A, fig. 1, pl. LXVII, est un bâtiment couvert par un comble à deux égouts plans; *B* est une aile qui joint et qui est couverte par un comble à deux égouts en impériale; la jonction du petit comble sur le grand donne lieu à un noulet *b a b* en impériale.

La fig. 2 est la projection verticale d'une ferme du petit comble, rabattue sur la projection horizontale et située en *M N* sur cette projection (1).

(1) Le tracé de la courbe en impériale de cette figure diffère un peu de celui que nous avons indiqué tome I^r, page 493.

x x, horizontale tracée à moitié de la hauteur *e a* du comble; *b g*, inclinaison de la tangente commune aux deux arcs de cercle du profil du toit; *b o*, perpendiculaire sur *b g*. La ligne *a f* divise en deux parties égales l'angle *o b c*; elle coupe *x x* en *f*; la ligne *f k*, parallèle à *b g*, est la tangente commune; *s f z*, qui lui est perpendiculaire, contient

La fig. 3 présente l'assemblage sur le faite et le sous-faite pour les chevrons placés entre ceux des fermes.

Nous n'avons point projeté horizontalement les pannes, nous nous sommes contentés de marquer les entailles en p , p , qui reçoivent celles qui sont soutenues par l'entrait.

Cette ferme est dans une situation perpendiculaire à la direction du petit comble. Il peut arriver que l'on veuille que la ferme la plus rapprochée de la ferme noulet soit parallèle à la direction du grand comble, ou qu'elle fasse un angle moindre que celui que les combles font entre eux, afin de diminuer par cette ferme intermédiaire la portée des pannes entre la dernière ferme du petit comble et la ferme noulet : il en résulte que cette ferme intermédiaire est biaise. La position d'une ferme biaise est marquée par sa projection horizontale $M' N'$, sa projection verticale sur le plan d'une de ses faces de parement est couchée sur la droite, fig. 4.

Les points de cette projection sont construits d'après leurs homologues de la fig. 2, en leur donnant des hauteurs égales au-dessus du plan horizontal, mesurées sur des verticales dont les positions sont également homologues et déduites de la ferme fig. 2, par des lignes de renvoi sur la trace de la face de parement $M' N'$ de la ferme fig. 4. Nous avons déjà eu occasion de parler des projections des fermes biaises déduites de celles des fermes droites, tome I^{er}, page 527; mais il ne s'agissait alors que de constructions avec des pièces de bois droites; la méthode suivie est la même pour les fermes qui comportent des pièces courbes : il nous a paru utile de profiter du cas qui se présentait au sujet du noulet en impériale, pour tracer les projections des pièces courbes d'une ferme biaise; la construction des courbes peut être faite, comme nous l'avons dit déjà, par points déduits de l'épure, ou dans le cas particulier de surfaces cylindriques qui se présente ici de nouveau, par la construction directe des ellipses résultant des sections dans les surfaces par les faces des parements des fermes.

La ligne $b d$, fig. 5, est la ligne d'about des chevrons du grand comble plan; $M' N'$ est la projection horizontale d'une ferme en tout égale à celle projetée verticalement, fig. 2.

L'angle $P C Q$ est dans un plan vertical qui a pour trace horizontale la ligne $P C$, et qui a été rabattue à gauche; cet angle mesure l'inclinaison du grand comble, la ligne $Q C$ étant sa trace dans le plan vertical. La ligne

les centres des arcs de cercle; l'arc $b f a$ a son centre en s ; l'arc concave a pour corde $f i$; le point i est pris à l'intersection de la ligne $b a$ avec la face d'assemblage du poinçon; le centre de l'arc $f i$ est en z sur la ligne $s f z$.

$q c$ marque dans ce profil l'épaisseur de la ferme noulet, la ligne $q' c'$ marque celle de ses chevrons noulets. Le rhombe $G c o' o$ est, dans ce même profil, la coupe du tirant de la ferme noulet.

Cette même fig. 5 représente la projection horizontale de la ferme noulet, tous ses points sont déduits de la projection $M N$ de la ferme du petit comble; ils se trouvent aux intersections des horizontales passant par leurs points homologues de la ferme du petit comble avec les horizontales tracées à même hauteur sur les plans de parement de la ferme de noulet, parallèles au grand comble. Nous avons marqué en $M' N'$ et ponctué la projection horizontale d'une ferme du petit comble dont une portion formerait une fermette assemblée sur la ferme noulet; et sur celle-ci nous avons marqué en 1, 2, 3, 4, les occupations des pièces homologues sur le tirant, l'entrait, la jambette et le chevron noulet.

La fig. 6 est la herse de la ferme noulet projetée sur le plan du grand comble, qu'on a rabattu en le faisant tourner autour de sa trace ou ligne d'about $b d$, après l'avoir reculée suffisamment en $b' d'$.

Nous avons marqué sur cette herse les occupations 1', 2', 3', 4', des pièces de la fermette sur les homologues auxquelles elles sont assemblées à tenons et dans des mortaises que nous n'avons point tracées.

Nous avons marqué dans les fig. 4, 5 et 6 des tronçons de pannes dans les emplacements où ces pannes passeraient, et nous nous sommes abstenu de mettre ces pannes entièrement en projection horizontale pour éviter la confusion.

III.

NOULETS ENTRE COMBLES A SURFACES COURBES.

§ 1. *Noulet entre une voûte sphérique et une voûte cylindrique.*

La fig. 1, pl. LXX, est le plan d'un bâtiment couvert par un comble en voûte cylindrique, à ce bâtiment sont joints deux bâtiments sur plans circulaires. La fig. 2 est une coupe suivant la ligne $a b$ de la fig. 1, qui montre que la voûte sphérique porte le noulet d . La fig. 3 est une coupe sur la ligne $c c$ de la fig. 1, dans laquelle on voit que la voûte cylindrique qui couvre la salle circulaire est conservée intacte, et pour lors, le noulet d' fait partie de la voûte cylindrique.

Sur les fig. 4 et 5, on voit à droite le détail de cette combinaison. Le noulet $A B$, qui se rapporte au premier cas, est projeté entre deux surfaces cylindriques parallèles à celles du toit cylindrique dont le profil est $T P$. Ce noulet est projeté horizontalement en $B A B$, fig. 5, et sur la face

de ce noulet, comprise entre les surfaces de la coupole, nous avons marqué les occupations des chevrons en d et d' et celle du cours de pannes M en N .

Pour qu'on puisse étudier la manière de choisir et de disposer les bois destinés à exécuter la courbe d'un noulet, sans qu'il en résulte de confusion, nous avons répété sur la droite, fig. 11, une copie exacte de la projection $B A B$ du noulet de la fig. 5.

Nous avons également reporté, fig. 14, la partie de la fig. 4 qui présente les profils de la voûte sphérique et celui de la voûte cylindrique qui contient la projection du noulet $A B$.

Nous avons enfin fait sur un plan vertical parallèle à l'axe de la voûte cylindrique une projection verticale de ce même noulet, cette projection est construite fig. 10; la ligne $B B'$ est prise pour le niveau du dessus de la sablière.

Nous supposerons que le noulet doit être formé de trois pièces : une à chacune de ses naissances, une troisième horizontale fournira sa sommité.

Tracant, fig. 14, deux lignes $q-s$, $q'-s'$, elles seront les projections de deux plans contenant les deux faces des pièces qui donneront les portions des courbes des naissances. Le plan déterminé par $q-s$ a pour trace horizontale la ligne 1-3, fig. 11. En faisant tourner ce plan, pour le rabattre sur l'horizontale, autour de sa trace 1-3 sur la fig. 11, reportée en 1-3 sur la fig. 12, on fera sur ce plan la projection à la herse du noulet; elle y est représentée en lignes ponctuées. La ligne 4-5 est sur la herse la trace du plan passant par le milieu de l'enture, on joint entre une pièce de la naissance du noulet et la pièce de sa sommité; les lignes 6-7, 8-3 sont les traces des plans qui marquent les limites du croisement des bois dans l'enture, la ligne 6-7 limite aussi la longueur de la première pièce de bois qui se trouve projetée en herse, par le rectangle $p q r s$, fig. 12, et sur sa face répondant à $s p$ rabattue par le rectangle $p s s' p'$, fig. 13. Au moyen des distances à la trace 1-3, fig. 12, projetée sur le point 3, fig. 14, on met en projection sur cette figure les points p , p' , q , q' , r , r' , s , s' , que l'on reporte aisément sur la projection horizontale de la pièce, fig. 11; projection qui n'est point indispensable pour tailler la pièce de bois, et que nous ne traçons, fig. 10 et 11, que pour montrer cette pièce dans sa position à l'égard de la partie du noulet qu'elle doit fournir.

La projection du noulet à la herse a été faite au moyen des distances des points de sa projection horizontale au plan vertical qui a pour trace horizontale la ligne $C A$, fig. 9 et 11, et des horizontales répondant à leurs projections sur la ligne $A B$, fig. 14, qui est la trace d'un plan parallèle à la face de la pièce sur laquelle la projection à la herse est faite.

Pour tailler la courbe dans la pièce dont on a fait les projections, fig. 12 et 13, avec le plus de facilité et de précision, il faut d'abord tailler la surface cylindrique intérieure et la surface cylindrique extérieure; on construit les traces de ces surfaces cylindriques sur les faces de la pièce, fig. 13; ces traces sont des arcs d'ellipse; on construit leurs patrons par points ou en déterminant leurs diamètres conjugués.

Nous ferons remarquer pour l'un et l'autre procédé que la trace horizontale du plan supérieur de la pièce de bois est la ligne 1-0, fig. 11, le point o étant sur l'axe $o r$ du cylindre. Cette ligne $o r$ est projetée sur le plan de la herse, $o r$; elle est contenue dans un plan perpendiculaire à la herse, et elle se projette dans la fig. 13 en $o'' O$ perpendiculaire aux faces de la pièce. Le point 1 est dans cette projection le même que le point 1 de la fig. 11. En faisant, fig. 13, $1 O = 1 o$ de la fig. 11, le point O est le centre de l'ellipse extérieure, $O 2$ est un demi-diamètre, tandis que $O o''$ est son demi-petit axe. On a de même le diamètre, un axe et le centre de l'ellipse intérieure. On détermine de même encore sur le plan de la face inférieure de la pièce, les arcs d'ellipse ponctués, fig. 13, qui sont les traces des deux surfaces cylindriques. Ces ellipses étant tracées sur les faces de la pièce, il faut, en joignant par des lignes droites les extrémités des lignes de même rang, marquer sur les quatre faces de la pièce les traces d'une suite de plans parallèles aux génératrices de ces mêmes surfaces cylindriques et perpendiculaires à la herse. Ces traces serviront, lorsque les surfaces cylindriques seront taillées, à trouver les positions exactes des génératrices de ces surfaces, et, dans ces surfaces, les arêtes de la courbure sphérique du noulet qu'on aura replacé sur la herse ou à proximité pour rapporter sur chaque génératrice les points appartenant à ces arêtes, et tailler en dernier lieu la surface sphérique intérieure et la surface sphérique extérieure.

Par un procédé semblable, on fera choix de la pièce devant fournir la sommité du noulet. A cet égard, l'opération sera plus facile, puisque cette pièce étant posée de façon que le fil du bois soit parallèle aux génératrices des surfaces cylindriques, on marquera sur les bouts de la pièce les arcs qui sont les traces de cette surface, et il sera facile d'y rapporter, sur les génératrices qu'on aura tracées, les points appartenant à la surface sphérique. Nous nous sommes contenté d'indiquer sur les fig. 10, 11 et 14 les projections d'une partie de cette pièce, et de marquer sur les trois projections ses points de mêmes numéros.

Sur la fig. 4, nous avons projeté le noulet $T P$ faisant partie de la voûte cylindrique pour le deuxième cas dont nous avons parlé, page 49. Ce noulet doit être traité de la même manière que celui que nous avons décrit ci-dessus.

§ 2. *Noulet entre une voûte sphérique et un toit conique.*

Les fig. 4 et 5, pl. LXX, sont, comme précédemment, les projections d'une coupole de charpente. Sur la droite, on a profilé, fig. 4, en $A B$, le toit conique; la trace horizontale de sa surface extérieure sur le plan des sablières est l'arc $m n$.

On suppose que l'espace de la tour devant rester entier, le noulet qui fait alors partie de la charpente de la coupole, est compris entre deux surfaces coniques : d'abord celle du comble et une seconde qui lui est parallèle et dont la trace circulaire sur le plan horizontal est l'arc du cercle $m' n'$. Ce noulet se trouve projeté par des courbes en $D E$ en projection verticale, et en projection horizontale.

Les points de ces courbes sont obtenus en projection horizontale, par les projections également horizontales des intersections d'une suite de cercles résultant de plans horizontaux qui coupent les surfaces sphériques et les surfaces coniques. Les points ainsi obtenus sont relevés en projections verticales sur les traces des plans qui ont donné les cercles. Nous avons, comme précédemment marqué sur la projection horizontale de ce noulet les occupations d, d, N des chevrons qui s'y assemblent et des liernes M , qui s'y assemblent aussi.

La fig. 8 est la même projection verticale que celle de la fig. 4. Nous y avons marqué les pièces $p p' r' r$; 10, 11, 12, 13, desquelles on doit tirer les courbes dont l'assemblage formera le noulet. La fig. 6 est une projection de la moitié du noulet sur la face $p q r s$ de la pièce qui répond à la naissance du noulet.

La fig. 7 est une projection de la sommité du noulet sur la face 10-11 de la pièce dans laquelle on doit la tailler.

Ce qui a été dit dans l'article précédent et ce que nous allons exposer dans l'article 3^e, nous dispense d'entrer dans de plus longs détails.

Nous remarquerons cependant que quelques charpentiers commencent par assembler par entes toutes les pièces de bois qui doivent composer une courbe à double courbure; il faut alors employer dans sa construction des pièces d'un très-gros volume; il en résulte d'ailleurs que le bois est fort affaibli, parce que son fil est trop coupé; il est préférable pour la solidité de l'ouvrage et pour l'économie du bois, de partager la courbe à double courbure qu'on doit exécuter en plusieurs parties, auxquelles on fait adapter des bois dont le fil est établi dans le sens des tangentes au milieu du développement de chaque courbe, en réservant toutefois assez de longueur aux pièces pour fournir aux entes. Lorsque ces pièces sont

toutes taillées, on les assemble en herse ayant égard aux traits ramenerets qu'on a dû y tracer.

§ 3. *Noulet d'une voûte cylindrique sur un toit conique.*

La fig. 14, pl. LXXI, est une projection horizontale d'un toit cylindrique *A*, qui s'appuie par un noulet *b a d*, sur un toit conique *B*. Sur la figure 1^{re} nous avons ponctué deux arcs de cercle *b e, b' e'*, marquant le profil de la voûte cylindrique qui rencontre le toit conique dont *S s* est le profil et qui s'y appuie. Pour éviter la confusion, nous avons rapporté, fig. 18, les mêmes profils du toit conique et du berceau en charpente qui doit comprendre le noulet, vu que l'étendue de la tour ne doit point être réduite par le bâtiment principal et qu'elle est saillante dans ce bâtiment couvert par le berceau. La fig. 21 est une projection horizontale qui répond à la projection verticale, fig. 18. La trace de la naissance de la surface cylindrique extérieure est la ligne *b b*; la trace de sa surface intérieure est la ligne *b' b'*; *B E B*, fig. 21, est la projection horizontale du noulet; *B E*, fig. 18, est sa projection verticale; il est compris en même temps entre les deux surfaces du berceau cylindrique, et entre deux surfaces coniques; l'une, celle de la surface extérieure du toit conique, ayant pour trace horizontale l'arc de cercle *m n*, l'autre qui lui est parallèle, ayant pour trace horizontale l'arc de cercle *m' n'*.

La projection verticale du noulet est tout entière dans le profil *B E* du berceau cylindrique; il est appuyé sur le lattis conique. Les points de sa projection horizontale s'obtiennent par les intersections d'une suite de cercles et de lignes droites résultant des sections faites par des plans horizontaux dans les surfaces coniques et dans les surfaces cylindriques. Nous avons mis en projection horizontale les chevrons *d d d* du berceau cylindrique et marqué en *d' d' d'* les occupations de ceux qui s'assemblent sur le noulet.

Nous avons projeté le noulet, fig. 23, sur un plan parallèle aux génératrices des surfaces cylindriques et ayant pour trace verticale la ligne *P Q*, fig. 18. Choisie dans une position moyenne par rapport à la courbure cylindrique *b e* du noulet, cette projection, c'est-à-dire le plan sur lequel elle est faite, est rabattue sur le papier, elle est formée de quatre courbes dont les points sont construits en les renvoyant perpendiculairement de la projection horizontale, fig. 21, sur des lignes droites horizontales parallèles aux arêtes du cylindre, et dont la position est déterminée en rapportant sur la figure 23 les distances des points où elles sont projetées sur la trace *P Q*, fig. 18.

La fig. 20 est la projection du noulet *e b b' e'*, exactement comme il est

représenté, fig. 18; cette projection n'est point nécessaire dans la pratique. Nous l'avons établie, la ligne *PQ* étant horizontale, pour mieux faire comprendre la position de chacune des pièces de bois qui y sont figurées, en projection verticale, tandis qu'elles sont en projection horizontale, au-dessous, fig. 22.

La projection en herse étant disposée, fig. 23, on fait choix des bois capables de contenir les parties de courbes dont le noulet doit être composé; ces pièces sont équarries avec précision sur les dimensions requises par l'épure. Elles sont successivement placées sur l'ételon ou épure dans la position où elles sont indiquées, fig. 19 et 23, pour y marquer les lignes de repère ou de rameneret qu'on a tracées sur l'épure, et réciproquement pour marquer sur l'épure les traces de leurs faces, qui coupent les surfaces cylindriques et sur lesquelles on doit marquer les traces de ces surfaces, soit en relevant leurs points de l'ételon et de la projection, fig. 18 ou 20, soit en construisant à l'imitation de la coupe des pierres des panneaux pour les appliquer sur les faces des pièces (1). Après que les surfaces cylindriques sont taillées dans chacune de ces pièces, les lignes et traits ramenerets qui ont été enlevés avec le bois sont rétablis en rencontrant les lignes de mêmes rangs restées sur les autres faces des pièces. On établit les pièces de nouveau et avec précision sur l'ételon pour projeter sur les faces cylindriques les courbes du noulet, après quoi on taille les surfaces coniques.

Les lignes du milieu et les traits ramenerets, qui ont disparu par l'enlèvement du bois pour tailler les surfaces coniques, sont rétablis par la rencontre des génératrices des surfaces cylindriques. Lorsqu'on a tracé sur toutes les pièces courbes les lignes de repère et les traits ramenerets, ces pièces sont établies une troisième fois sur l'ételon, ensemble et soutenues sur lignes de niveau et de dévers, par des chantiers et des coins comme nous les avons représentées, fig. 19, en projection verticale. C'est dans cette position des courbes qu'on pique les assemblages de leurs entes; lorsqu'elles sont taillées, on les assemble; elles composent alors le noulet qui est mis *en grand* sur l'ételon pour vérifier son exactitude.

On pourrait également remettre sur ligne les pièces toutes ensemble, dès que les surfaces cylindriques sont taillées, afin de piquer immédiatement leurs assemblages, tailler ces assemblages et assembler les pièces, qui n'en formeraient, pour ainsi dire, plus qu'une seule, laquelle serait remise tout assemblée sur l'ételon, pour recevoir sur la surface cylindrique le

(1) Quoique ces pièces ne soient présentées que l'une après l'autre sur l'ételon, nous les avons marquées ensemble sur l'épure, fig. 20 et 23, pour ne point multiplier les figures.

tracé des courbes du noulet. Le noulet serait terminé en taillant ses faces coniques, toutes les pièces toujours assemblées. On conçoit qu'il faut dans tous les cas établir le noulet une dernière fois sur l'échelon en herse, fig. 22, pour vérifier sa bonne exécution et y tracer les occupations et assemblages des chevrons du comble cylindrique.

§ 4. *Noulet d'un toit conique contre une tour cylindrique.*

A, fig. 16, pl. LXXI, est le plan d'une grosse tour, *B* est le comble conique d'une petite tour qui ne pénètre pas dans la grande, et *b a d* est le noulet de jonction du toit conique contre le mur de la grosse tour.

A F, fig. 13, même planche, est le profil générateur du toit conique, dont l'axe est projeté verticalement en *s a* et horizontalement en *a'*, les cercles *p q*, *p' q'*, sont les traces horizontales de sa surface extérieure et de sa surface intérieure. *G D* est le profil du parement de la muraille de la grosse tour. Le plan de cette tour est marqué, fig. 15, par l'arc de cercle *m n*. Le noulet *B E* est compris dans l'épaisseur du toit conique et entre la surface cylindrique de la tour, et une surface également cylindrique, qui a pour génératrice la verticale *q d* et pour trace horizontale le cercle *m' n'*.

Nous avons projeté le noulet, fig. 12, sur un plan vertical perpendiculaire à celui de la projection, fig. 13, et nous y avons figuré les occupations *d d* des chevrons et celles *n n* des liernes du comble conique.

§ 5. *Noulets entre deux toits coniques convexes.*

La combinaison des noulets entre des toits coniques présente deux cas.

Le comble *A*, pénétré par le petit comble *B*, peut être convexe, fig. 4, ou concave, fig. 4, pl. LXXII.

Nous traitons dans cet article le premier cas; le deuxième fait l'objet de l'article suivant.

La figure 7 est le profil d'un comble conique qui couvre une grosse tour; *S D* est un de ses arbalétriers; *Z C* est l'axe vertical des surfaces coniques de ce comble : cet axe est projeté en *C*, fig. 41. C'est sur cet axe qu'est établi le poinçon dans lequel viennent s'assembler, après déjoutement, vingt arbalétriers, comme la figure 41 les représente en projection horizontale.

La fig. 6 est le profil d'un toit conique couvrant une petite tour qui pénètre dans l'intérieur de la grosse.

La figure 10 est le plan de ce petit comble conique qui est entier, et

qui reçoit l'application du noulet soutenant le toit du grand comble dans la partie où il est interrompu pour le passage du petit.

Le poinçon de ce petit comble est établi dans son axe vertical z , e , projeté horizontalement en c .

Les abouts des chevrons des deux combles sur les sablières sont marqués par des arcs de cercle dans les projections horizontales, fig. 10 et 11.

La pièce projetée horizontalement et verticalement par quatre courbes en BE est le noulet; il est compris entre la surface intérieure et la surface extérieure du grand comble, et entre la surface extérieure du petit comble et une surface qui lui est parallèle, et qui a pour génératrice la ligne $z' d$. Les occupations des chevrons et des pannes du grand comble sont marquées sur sa face externe.

§ 6. *Noulets entre un toit conique convexe et un toit conique concave.*

La figure 9, pl. LXXII, est le profil d'un grand comble couvrant une galerie circulaire entourant une cour. Le centre des cercles du plan de cette galerie et de la cour est en C , fig. 11. Ce toit est formé du côté intérieur par une surface conique concave, et du côté extérieur par une surface convexe ayant toutes deux pour axe vertical commun la ligne $Z C$, fig. 7, projetée sur le centre C , fig. 11. *Voyez* page 30.

La figure 13 est la projection de ce comble conique à deux égouts.

La figure 8 est le profil du petit comble couvrant une petite tour saillante du côté de la cour, et qui pénètre dans la galerie; son axe est $z' c'$, fig. 8, et son centre est en c' , fig. 12. Ce petit comble reçoit l'application des noulets faisant partie de la charpente du grand comble.

La figure 12 est la projection horizontale de ce petit comble conique.

Nous avons, dans cette combinaison, représenté deux noulets : dans l'un s'assemblent les arbalétriers $G G$ du grand comble; dans l'autre, les chevrons g, g, g , etc., du même grand comble.

Le noulet des arbalétriers est projeté en DE , fig. 9, 12, et 13. Sa coupe par le plan vertical est tracée en 1-2-3-4, fig. 8 et 9. Les pas ou assemblages des arbalétriers sur le noulet DE , sont tracés en m, m, m , fig. 12 et 13.

Le noulet des chevrons est projeté en de , mêmes figures 9, 12 et 13, et sa coupe par le plan vertical est marquée en 5-6-7-8, fig. 8 et 9.

Les chevrons des deux combles sont projetés horizontalement, fig. 12 et 13, et les pas et occupations de ceux du grand comble sont marqués en m', m', m' , en projection horizontale sur le noulet.

Nous n'avons point projeté en entier les pannes circulaires P, P' , sur le plan horizontal, fig. 13, pour éviter la confusion; celle P est interrompue

d'ailleurs par sa rencontre avec la surface du petit comble conique. Son about sur cette surface est marqué 9-10-11-12, dans les deux projections.

Les courbes qui dessinent les formes des noulets, dans le premier cas, fig. 6, 7, 10 et 11, et dans le deuxième, fig. 8, 9, 12 et 13, sont obtenues en projection horizontale par la méthode des sections parallèles, c'est-à-dire par les intersections des projections horizontales des cercles résultant des sections faites simultanément dans les surfaces coniques par des plans horizontaux.

La combinaison des quatre cercles déterminés par un plan horizontal dans les surfaces de chaque comble, donne dans le cas des figures 10 et 11, quatre points des courbes noulets de chaque côté du plan passant en même temps par les axes des cônes projetés en c , C , c' . Dans le deuxième cas, huit points de chaque côté du même plan sont déterminés parce que le noulet est double, et que quatre cercles sont obtenus dans le grand comble, et deux dans le petit.

§ 7. Noulet entre deux toits en impériale.

$c g e f$, fig. 1 de la planche LXXIII, est la ligne d'about du comble en impériale d'un bâtiment A terminé en $c g$ par une croupe concave, dont le poinçon est projeté sur le point q , et en $c f$ par un pignon. $f p e$ est la coupe du comble rabattue à droite. Un bâtiment B , couvert également par un toit en impériale, se joint obliquement au bâtiment A ; les lignes d'about de ses longs pans sont $h h$, $d l$, le profil de ce comble est rabattu sur l'épure en $h k l$; ce comble donne lieu au noulet $b a d$. Son faitage est projeté sur la ligne $a o$.

Les points des courbes de l'arête creuse de ce noulet sont construits par la méthode des sections parallèles, au moyen des intersections en projection horizontale des lignes droites résultant des sections horizontales faites simultanément dans les deux combles. Nous n'entrons point ici dans les détails de l'épure de ce noulet qui rentrent dans ceux que nous avons exposés précédemment.

Nous ferons remarquer seulement que les deux combles n'ayant point leurs courbures placées aux mêmes hauteurs, il peut résulter, de leur combinaison dans les noulets, des formes bizarres et des inflexions peu gracieuses.

On peut éviter ce résultat par la disposition indiquée, même figure, par les noulets $b' a'$, $a' d'$, et le profil $h' k' l'$ au bâtiment B . Les lignes $b' k'$, $d' l'$ étant des lignes d'abouts de ce bâtiment, la ligne $a' o'$, qui est la projec-

tion horizontale de son faite, est projetée verticalement sur le plan $p f e$ en $a' k'$; $o' k'$ étant égal à $o' k$, hauteur du comble B' .

Les lignes droites $b' a', d' a'$ sont prises pour les projections des arêtes creuses du noulet : il s'ensuit que le profil $h' k' l'$ du comble B' est formé de deux parties égales à celle $e a'$ du profil $f p e$ du grand comble A . Il en résulte que le profil du comble B' n'est pas semblable à celui du comble B , mais les noulets sont des courbes planes et qui ne sont point aussi contournées que celles du noulet $b a d$.

§ 8. *Noulet entre un comble droit en impériale et un comble en impériale sur plan circulaire.*

La fig. 10, pl. LXXIII, est la projection horizontale d'un bâtiment demi-circulaire A couvert par un comble en impériale dont les pans sont des surfaces de révolution autour de l'axe vertical projeté sur le point c ; ses extrémités forment des croupes. Les arêtes peuvent être déterminées par des plans verticaux dont les traces sont des lignes $m o, n o$, ou bien on peut les conclure de la surface du grand comble et d'un pan de croupe, par la méthode des sections horizontales, comme la fig. 12 l'indique.

B et B' , fig. 10, sont deux bâtiments qui pénètrent le premier dans la direction de son axe, et qui sont également couverts par des combles en impériale égaux.

Les croupes de ces bâtiments peuvent être établies suivant des lignes droites $m' n'$, ou suivant des surfaces de révolution ayant le même axe projeté en c , et dont les lignes d'abouts sont ponctuées.

Les différentes parties d'épure que présente la même planche LXXIII se rapportent aux détails du noulet $b a d$ compris dans le rectangle 1-2-3-4 de la fig. 10.

La fig. 9 est une ferme méridienne du grand comble demi-circulaire A . L'axe vertical de révolution est projeté en C , et couché avec la fig. 9 de C en O , fig. 11.

Nous supposons cette ferme placée sur le plan vertical qui a la ligne $C O'$ pour trace horizontale et ramenée dans la position $C O''$ où elle est représentée, fig. 9. La ligne d'about du lattis de ce comble répondant au point A de la ferme, fig. 9, est l'arc de cercle $A O x$, fig. 11.

La projection de l'arête du faite du même grand comble répondant au point K , fig. 9, est l'arc de cercle $K' O' K$, fig. 11.

Sur la fig. 11 nous avons rabattu en $m n k$ une des fermes du petit comble B . En $M N, M' N'$, même fig. 11, sont les projections horizontales de deux de ces fermes; l'une d'elles, celle $M N$, est projetée verticalement en $m n$, fig. 9, sur le même plan vertical que la grande ferme. Une

fermette portant sur la ferme noulet est projetée encore sur le même plan en $m' n'$.

La figure 7 est la projection horizontale de la ferme noulet comprise entre la surface de révolution qui forme le lattis du grand comble, engendrée par la courbe impériale $K T A$ fig. 9, est une surface également de révolution qui lui est parallèle, engendrée par la courbe $k t a$.

Les points des courbes qui forment les projections de toutes les pièces de la ferme noulet sont obtenus par la méthode des sections parallèles qui donne, par exemple, pour le chevron noulet en impériale, les quadrilatères curvilignes 1, 2, 3, 4, 5, 6, fig. 7, répondant aux lignes 1- m , 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6, des projections, fig. 9 et 11.

La fig. 6 est une projection en herse de l'arbalétrier R sur le plan de sa face supérieure dont la trace est la ligne droite $y z$, sur la ferme rabattue, fig. 11.

Nous n'avons marqué dans la figure 6 que les projections des extrémités de cette pièce, sans avoir égard à ses embrèvements et tenons d'assemblage.

La figure 4 est une projection de la même pièce, l'arbalétrier de la ferme de noulet, sur le plan de la figure 9.

La figure 5 est une projection du chevron noulet sur le même plan méridien de la ferme, fig. 9. Nous avons fait ces deux projections à part, fig. 4 et 5, parce qu'elles eussent été trop confuses sur la fig. 9.

La figure 2 est une projection en herse de la ferme de noulet. Cette projection est faite sur un plan perpendiculaire au plan vertical de la projection, fig. 9, et dont les traces sont les lignes $P Q$, $p q$ et $p'q'$, fig. 9, 4 et 5, choisies de façon que les projections des pièces y apparaissent sans confusion, afin qu'on puisse les tracer et couper les unes après les autres par débillardement, pour les établir ensuite sur la projection à la herse, fig. 2, et piquer leurs assemblages.

L'arbalétrier de la ferme de noulet et toutes les pièces qui répondent à des parties droites de la ferme du petit comble, fig. 11, peuvent être coupés au moyen de projections semblables à celles de cet arbalétrier, fig. 4 et 6. Le seul chevron de noue nécessite pour le couper sa projection, fig. 5, et sa projection en herse de la fig. 2.

Il est entendu que, pour gabarier les pièces avec exactitude et y faire les débillardements qui doivent produire leurs formes définitives, ainsi que pour les établir sur ligne en herse, il est indispensable que des projections de lignes d'établissement et de rameneret y soient marquées avec précision. Nous n'avons point marqué ces lignes sur la figure, pour éviter la confusion et parce que chacun peut les établir comme bon lui semble,

pourvu qu'elles se correspondent exactement sur les projections et à la herse.

La figure 8 est un détail de l'assemblage de la panne *P* de la fig. 11.

§ 9. Arêtiers, noues et noulets résultant de la combinaison de divers combles.

Nous avons figuré, pl. LXXXVI, les principales combinaisons entre diverses surfaces de combles, donnant différentes sortes d'arêtiers, de noues et de noulets, dont les épures peuvent être exécutées d'après celles que nous avons décrites précédemment.

Fig. 1, projection horizontale et projection verticale d'un pavillon en tour ronde à cinq épis, formé par un toit conique coupé par quatre pans plans qui donnent des faitages horizontaux, quatre noues droites, quatre croupes à surfaces coniques avec leurs arêtiers qui sont en courbes elliptiques.

Cette combinaison est tirée de l'ouvrage de Fourneau, pl. LXXXVII. Nous l'avons employée, fig. 1 et 2 de la planche LXXXI, pour couvrir une guitarde appliquée à une tour ronde.

Fig. 2, projection horizontale et projection verticale d'un pavillon en tour ronde à cinq épis, couvert par une coupole sphérique coupée par quatre plans. Faitages horizontaux; noues rectilignes, croupes sphériques; arêtiers plans en arcs de cercle.

Fig. 3, pavillon à cinq épis couvert par un comble conique coupé par quatre pans en impériale.

Fig. 4, pavillon en tour ronde à cinq épis; comble en surface de révolution profilée en impériale, coupée par quatre pans plans.

Fig. 5, comble formé sur tour ronde, par une surface sphérique tronquée suivant quatre plans formant pavillon à quatre arêtiers droits et huit arêtiers en arcs de cercle renversés.

Fig. 6, comble sur tour ronde formé par un toit conique tronqué par quatre plans formant pavillon à quatre arêtiers droits; noulets en portions d'hyperboles.

Fig. 7, comble formé par un toit conique tronqué par quatre plans formant pavillon à quatre arêtiers droits et huit arêtiers en arcs d'ellipse renversés. Cette combinaison est du même genre que celle de la figure 5, sinon que dans la figure 5 les parties courbes du comble appartiennent à une surface sphérique et que, dans la figure 7, elles appartiennent à une surface conique dont le sommet est en *s*.

Fig. 8, pavillon à cinq épis présentant quatre croupes comprises dans la même sphère, et quatre longs pans produisant deux faitages horizontaux, quatre noues droites et huit arêtiers plans en arcs de cercle.

Fig. 9, projection verticale et projection horizontale d'un comble conique dont le sommet est en *c*, tronqué par deux plans formant un faite horizontal *d g* et quatre arêtiers elliptiques *d a*, *d b*, *g a*, *g b*, pour les deux croupes coniques.

La fig 10 est dans une deuxième projection verticale de ce comble sur un plan parallèle à la ligne *a b* de sa projection horizontale ; cette combinaison est tirée de l'ouvrage de Fourneau, pl. XXXVI. Nous donnons, pl. LXXVII, des croquis des différentes parties de l'épure.

Fig. 25, pl. LXXVII, projection horizontale ou plan de ce comble.

Fig. 22, ferme sous-faite et de croupe suivant la ligne *a b* du plan.

Fig. 21, ferme simple suivant la ligne *d g* du plan.

Fig. 23, herse commune aux pans plans, donnant les arêtiers.

Fig. 24, herse de développement des croupes pour obtenir les coupes des empanons.

Ces sortes de herses ne donnent pas rigoureusement les coupes des empanons, mais on conçoit que, dans l'exécution même des plus petits combles de cette sorte, les portions des courbes qui marquent ces coupes ont si peu d'étendue et de courbure, que leurs projections à la herse se confondent avec leurs formes réelles, et qu'on peut faire usage de la herse, sans aucun inconvénient, sous le rapport de l'exactitude du trait.

Fig. 11, pl. LXXVI, comble conique tronqué intérieurement par deux plans.

Cette combinaison est extraite de la pl. XXXII de l'ouvrage de M. Protot (1); nous la donnons, non pas que nous la regardions comme pouvant être mise en usage, à cause de l'arête creuse horizontale formée par la rencontre des deux plans, mais parce que c'est une combinaison qui peut faire le sujet d'une épure d'étude comme application, et nous avons donné des croquis de ses différentes parties, pl. LXXVII.

La figure 26, pl. LXXVII, est le plan d'une moitié de ce double comble.

Fig. 27, projection d'une ferme suivant la ligne *c a* du plan fig. 26.

Fig. 28, herse du pan plan.

Fig. 29, développement en herse d'une des croupes coniques.

Fig. 12, pl. LXXVI, comble conique avec deux flèches aussi coniques.

Cette combinaison, qui peut donner lieu à une épure formant une excellente étude, est aussi tirée de la planche XX de l'ouvrage de M. Protot. Nous donnons, pl. LXXX, des croquis des différentes parties de cette épure. Les figures 4 et 5 de cette planche sont la projection horizontale et la projection verticale pareilles à celles de la figure 12, pl. LXXVI. Nous avons marqué sur celles-ci les projections des génératrices qui servent à construire les

(1) *Traité théorique et pratique de l'Art du Trait de Charpente*, in-4°, Reims, 1833.

développements des surfaces coniques. Les projections des courbes des noulets sont construites par les intersections des cercles obtenues par la méthode des sections parallèles. La figure 8 est une projection de la grande ferme établie suivant aa du plan, figure 4. La figure 7 est la petite ferme établie suivant la ligne dd du plan. Cette ferme porte le noulet opo résultant de l'intersection des deux flèches, dont M. Protot n'a tenu aucun compte. La figure 9 est le développement d'une des croupes coniques avec les noulets ao et la fig. 10 celui d'une des flèches avec les noulets ao et le noulet op .

Fig. 13, pl. LXXVI, double toit conique sur un plan formé de deux portions de cercles; $ba b$ est le noulet résultant de l'intersection des deux cônes droits.

Fig. 14, double toit conique sur un plan circulaire; les sommets s, s sont dans les verticales passant par les points s', s' du plan, qui marquent la division du diamètre mm en trois parties égales; les cônes sont scalènes; le noulet $ba b$ est compris dans un plan vertical.

Fig. 15, même combinaison, ne différant de la précédente que parce que les cônes sont tronqués par des plans passant pour chacun par son sommet et par deux génératrices choisies de façon que ce plan soit parallèle à la génératrice sm de l'autre cône. Ces deux plans se coupent suivant une gouttière horizontale aa , perpendiculaire au plan vertical des axes (1).

La figure 39, pl. LXXVII, représente les projections des noulets résultant des pans du toit du fronton d'un portique faisant avant-corps sur un bâtiment circulaire couvert par un toit en calotte sphérique.

Le noulet bad est formé de deux arcs de cercle résultant des sections faites dans la sphère par les pans du toit du fronton. Ces arcs de cercle sont projetés horizontalement suivant des arcs appartenant à des ellipses, projections des cercles contenus dans les plans dont les lignes mn, pq sont les traces.

La figure 27 de la même planche est relative aux noulets formés par les pans d'un fronton dans un toit conique.

Les parties ba, da sont les projections des arcs d'ellipse tracée dans la surface conique par les plans qui ont pour traces les lignes $m'n', p'q'$ du fronton.

(1) Dans ce cas, comme dans celui de la fig. 11, on place dans l'arête creuse horizontale deux plans peu inclinés qui rejettent les eaux de pluie de chaque côté en dehors du toit.

CHAPITRE XIX.

DU GAUCHE DANS LES COMBLES.

Les charpentiers ont longtemps regardé comme une condition essentielle de leurs constructions de n'employer aucune surface gauche, et ils ont choisi les combinaisons propres à éviter l'aspect désagréable que cette forme donnait aux pans des combles. Mais on a reconnu que, dans les bâtiments de peu d'importance, le gauche est sans inconvénient. Les grands édifices ont ordinairement des formes régulières et symétriques qui ne donnent point lieu à des surfaces gauches, sinon dans des cas fort rares, et, si l'on est obligé d'en faire usage, la symétrie de leurs générations atténue alors ce que leur aspect peut avoir de choquant.

Soit $a d' d$, fig. 10, pl. LXI, le plan d'un bâtiment irrégulier. On a formé ses deux croupes de plans triangulaires $a p a'$, $d q d'$, qui peuvent être isocèles, et le faitage est projeté sur la ligne $p q$ qui n'est parallèle à aucune des deux lignes d'about $a d$, $a' d'$. Deux cas se présentent : ou bien le faitage projeté sur $p q$ est horizontal, et ses extrémités sont déterminées par ses rencontres avec les pans des croupes auxquelles on peut donner la même pente ; ou bien ce faitage est l'intersection de deux pans de toit plans d'égales pentes, passant par les lignes $a d$, $a' d'$, et il est incliné. On voit que dans l'un ou l'autre cas, il ne peut, vu du dehors, se présenter parallèlement aux lignes d'égouts $a d$, $a' d'$ des façades du bâtiment, et ce faitage a l'air de fléchir par une de ses extrémités. L'aspect le moins désagréable, et la disposition qui consomme le moins de bois est évidemment celle dans laquelle ce faitage demeure horizontal. Les grands pans de toit sont alors des surfaces qui sont engendrées par une ligne de pente qui s'appuie sur la ligne d'about $a d$, ou $a' d'$, sur le faitage $p q$ et sur une verticale passant par le point c ou le point c' en lequel se coupent les deux arêtiers prolongés.

Cette surface peut aussi être engendrée par une droite horizontale qui s'appuie constamment sur les arêtiers, si le faitage doit être horizontal, ou enfin par une droite qui s'appuie sur les arêtiers et qui passe par une verticale répondant aux points g et g' où se rencontrent les projections du faitage et des lignes d'égouts $a d$, $a' d'$. Ces trois générations donnent, comme on sait, des surfaces gauches.

Les figures 24, 30, 31, 38, 39, pl. LXXVI, représentent les dispositions employées pour substituer des plans à ces surfaces gauches.

Dans la figure 24, deux plans de mêmes pentes passent par les lignes d'about $a d$. Leur intersection donne un faitage incliné $p f$ qui s'arrête au point f . Les points q sont pris au niveau du point p et les arêtiers $f q$, symétriques avec $f p$, donnent aux deux pans $a p f q d$ une symétrie très-convenable. Une des extrémités forme une croupe $a p a$, l'autre un pan $a q q d$ de peu d'étendue.

La figure 30 est le moyen d'éviter le gauche proposé par Fourneau. Aux quatre faces du bâtiment répondent quatre pans passant par les lignes d'about; par le point p , poinçon de la croupe $a p a$, il fait passer un plan horizontal qui détermine un triangle $p q q$ sur lequel on élève un toit pyramidal dont le sommet est en f . Ce sommet a assez peu d'élévation pour ne pas être aperçu du sol du dehors.

La figure 38 présente trois pans plans. Celui $a p q d$ répondant à la façade principale, l'autre partie $a' p q d'$ du comble qu'il faudrait faire gauche, en conservant, le faitage $p q$ horizontal, est divisé en deux pans, $a p d'$, $d' p q$, qui forment une arête saillante $f d$.

Dans la figure 39, la partie $a' p q d'$ est partagée en trois pans qui donnent une arête saillante en arêtier $p g$, et une arête creuse en noue $q g$.

Dans la figure 31, l'ensemble du comble est distribué en trois parties; à chaque extrémité se trouve un comble formant pavillon à deux croupes et au milieu un comble à deux égouts qui les unit; son faitage $p q$ est parallèle à la grande façade et donne deux noues séparées d'un côté et de l'autre côté deux noues qui se réunissent au milieu g de l'égout $a' g d'$; la position du faitage $p q$ est choisie de façon qu'il passe en o , milieu de $g h$.

Cette disposition est une imitation de celle plus régulière de trois corps de comble sur un bâtiment rectangulaire, fig. 20 et 21.

Les figures 25, 26, 33, 34, 35, présentent diverses combinaisons sur un plan en trapèze pour éviter les pans gauches.

La figure 25 est la projection horizontale d'un toit en pavillon. Les quatre pans sont plans.

Dans la figure 33, deux des pans, $a p b$, $c q d$, sont plans, le faitage $p q$ qui les joint est horizontal, les deux autres pans, $a p q c$, $b p q d$, sont des surfaces gauches; les projections horizontales de leurs génératrices divisent les lignes d'about $a b$, $d c$ en parties proportionnelles, et sont dans des plans horizontaux qui divisent aussi la hauteur du comble en parties proportionnelles correspondantes.

Le comble, fig. 26, est formé de quatre pans plans de même largeur, aboutissant à une terrasse horizontale en trapèze, $a' b' c' d'$.

Celui de la fig. 27 est formé par trois pans plans répondant aux lignes d'about $c a$, $a b$, $d b$, et d'un quatrième pan gauche, $c d r p$; il est terminé par une terrasse horizontale triangulaire, $p q r$.

Le figure 34 est, sur le même plan, la projection d'un cinq-épis du même genre que celui que nous avons décrit, fig. 6, pl. XLVII, page 503, tome I^{er}.

La figure 35, pl. LXXVI, est la projection d'un comble disposé sur un plan en trapèze, comme celui de la figure 13, pl. XLIV; il est disposé sur un plan carré.

La figure 16 présente un cas pour lequel une surface gauche ne donne point un aspect désagréable. $a b a b$ est le plan d'un pavillon ovale; que cette courbe soit une véritable ellipse ou qu'elle soit composée d'arcs de cercle, $s s$ est la projection d'une ligne de faitage horizontale; ses extrémités sont les sommets de deux parties coniques dont les axes sont projetés sur les mêmes points, et qui ont pour bases les courbes $b a b$. Ces portions de cônes sont raccordées de chaque côté par une surface gauche, engendrée par une ligne droite de pente qui se meut en s'appuyant sur le faite $s s$ et sur la courbe $b b$, de sorte que sa projection horizontale soit normale à la courbe $b b$. Si cette courbe est un arc de cercle, la génératrice passe par l'axe vertical projeté sur son centre.

Fourneau a proposé et représenté, dans sa planche XXXVIII, trois moyens que nous reproduisons ici. Dans la figure 17, le comble est formé de quatre surfaces coniques. Deux ont leurs sommets en s , et pour bases les courbes ou arcs $b a b$; deux autres ont pour bases les courbes ou arcs $b b$, auxquels les projections de leurs génératrices sont perpendiculaires et ont les mêmes inclinaisons que celles des surfaces extrêmes; par les sommets s de ces surfaces passe un plan horizontal que coupent les surfaces de raccordement suivant des courbes $s o s$, équidistantes ou semblables à leurs bases suivant que celles-ci sont des arcs d'ellipse ou des arcs de cercle.

Fourneau fait de ce plan une terrasse qui couronne le comble.

Le deuxième moyen qu'il propose est projeté, fig. 18; c'est la même disposition que celle représentée, fig. 1, sinon qu'ici le plan est oval au lieu d'être circulaire.

Le troisième moyen, fig. 19, tient de la fig. 9 et de la combinaison de la fig. 21.

La surface qui s'appuie à la ligne d'about générale $b a b$, $b a b$, est une surface conique à base elliptique dont le sommet est projeté au point C , ou une surface engendrée par une droite d'une inclinaison constante et dont la projection est normale à la courbe de la base.

Deux horizontales parallèles et perpendiculaires au grand axe percent la surface en p et q ; elles déterminent les positions de deux plans à chaque bout qui tronquent cette surface, et forment quatre croupes à surfaces coniques, $a p q$, $a q q$; une ligne de faitage, passant par les

milieux des lignes $p q$, détermine deux longs pans $f g f$, et, par suite, quatre noues $f g$. Nous doutons que la complication et la difficulté d'exécution de cette combinaison, soient compensées par l'avantage de la disparition des surfaces gauches; nous ne la regardons que comme un sujet d'épure très-propre à exercer les jeunes charpentiers.

Les figures 32 et 40 présentent des exemples de cas dans lesquels il est à peu près impossible d'éviter les surfaces gauches. Nous supposons un bâtiment trop étroit pour renfermer une cour et dont le plan est le quadrilatère $a b c d$; un côté $c d$ du bâtiment présente une façade droite, l'autre côté est en tour creuse, fig. 32, ou en tour ronde, fig. 40.

Nous supposons que la façade principale, dans l'un et l'autre plan, répond à la partie courbe; elle doit alors présenter une surface conique concave ou convexe d'égale largeur, et le faitage $p q$, tracé suivant une courbe concentrique, est horizontal: il faut bien alors que la partie du comble qui répond à la façade rectiligne soit une surface gauche dont la génératrice, passant par l'axe de la surface cylindrique, et qui est par conséquent normale à la courbe, s'appuie sur la ligne droite d'about $a b$ et sur le faitage courbe et horizontal $p q$.

Si la façade principale était sur le côté du plan qui est en ligne droite, le pan de toit de ce côté serait plan, le faitage de p en q serait une ligne droite $p q$, et la génératrice de la surface gauche s'appuierait sur le faitage rectiligne et sur la ligne d'about courbe $a b$.

La fig. 37 est la projection du toit d'un bâtiment dont le plan général est un rectangle; mais sur chacune des deux grandes façades est un renforcement en tour creuse dont la trace horizontale est un arc de cercle $a b d$, ce qui nécessite une interruption dans la surface plane du long pan du toit correspondant. Pour que cette disposition n'interrompe pas le faitage, on suppose que de chaque côté la ligne $f b$, qui passe par le centre de l'arc $a b d$, est la projection de la génératrice d'une surface conique dont l'arc $a b d$ est la base, et qui est tangente au faitage. On peut supposer encore que la partie du toit qui répond à chaque tour creuse est une surface gauche engendrée par une ligne droite qui se meut en s'appuyant sur le faite et sur l'arc de cercle $a b d$, et dont la projection horizontale est toujours perpendiculaire au faite. Dans l'une et l'autre hypothèse, les points des courbes $a f d$ sont construits, par le moyen de sections, par des plans horizontaux dont nous avons figuré les traces sur les surfaces du comble.

Les fig. 22 et 23 sont les projections de deux combles que l'on a divisés en quatre pavillons chacun, à cause de leur grande étendue.

CHAPITRE XX.

OUVERTURES DANS LES COMBLES ET DANS LES VOUTES.

Les ouvertures qu'on réserve dans les combles et dans les voûtes en charpente ont pour objet de livrer passage aux tuyaux de cheminées, ou de donner accès au jour; elles sont toujours établies au moyen de *linçoirs* (1).

Les ouvertures qu'on fait dans ces voûtes prennent le nom de lunettes lorsqu'elles répondent à des portes ou à des fenêtres.

I.

LINÇOIRS.

§ 1. *Linçoirs en toits plans.*

Les ouvertures qu'on établit dans les combles et dans les voûtes nécessitent l'interruption de plusieurs chevrons, dont les extrémités sont soutenues par des pièces de bois transversales nommées *linçoirs*, qui s'assemblent dans les chevrons non interrompus, à peu près comme les linçoirs et chevêtres qui soutiennent des solives s'assemblent dans les poutres des planchers (tome I^{er}, page 386).

La figure 2 de la planche LXXVII est la projection verticale, et la figure 4 la projection horizontale d'un lattis de comble en chevrons dans lequel sont deux ouvertures 1-1-2-2, 3-3-4-4.

La figure 2 est un profil du même lattis, et la figure 4 en est la herse.

L'ouverture 1-1-2-2 est destinée au passage d'une souche de cheminée; ses linçoirs *a* et *b* ont leurs faces internes verticales pour s'appliquer contre les parements aussi verticaux du tuyau de cheminée.

(1) *Linçoir* : probablement autrefois *liençoir*, pièce formant *lien* pour les chevrons, qui sans elle n'auraient aucune liaison.

Dans la deuxième ouverture, 3-3-4-4, destinée à l'accès de l'air et du jour, les deux faces de chaque linçoir sont perpendiculaires aux plans du toit.

Les figures 5 et 6 sont les projections d'un lattis de toit dans lequel on a réservé une ouverture cylindrique verticale pour le passage d'un tuyau de cheminée cylindrique. La figure 7 est le profil du toit; la figure 8 en est la herse. Les linçoirs *a, b* reçoivent sur leurs faces externes les assemblages des chevrons interrompus; sur leurs faces internes ils sont gabariés suivant la courbure de la surface cylindrique dont ils embrassent chacun un quart du développement; les deux autres quarts de ce développement sont embrassés par deux bouts de chevrons *c d* assemblés dans les linçoirs et dont les faces internes sont gabariées suivant la surface cylindrique de l'ouverture.

Si l'axe de l'ouverture cylindrique, au lieu d'être vertical, était horizontal, la disposition ne serait point changée. Il faudrait seulement retourner la figure, et considérer la figure 5 comme une projection horizontale, et la figure 6 comme une projection verticale. En *e* est un linçoir cintré.

Les figures 9 et 10 sont les projections verticale et horizontale d'une ouverture conique.

L'axe *ps*, de la surface conique dans laquelle est la paroi interne de cette ouverture, est vertical; la base horizontale est le cercle *mn*. Les mêmes lettres désignent les mêmes pièces que dans les figures 5, 6, 7 et 8.

La figure 11 est le profil du toit; la figure 12 en est la herse. Sur ces deux figures l'axe de la surface conique est projetée en *ps*, et sa base en *mn*. Sur la herse la projection de cette base est une ellipse.

Si l'axe de l'ouverture conique était horizontal au lieu d'être vertical, il faudrait, comme pour l'ouverture cylindrique, retourner les figures; la projection, fig. 9, serait horizontale et celle fig. 10 serait verticale.

§ 2. Linçoirs en toits cylindriques.

Un comble cylindrique est projeté verticalement, fig. 13, pl. LXXVII. La figure 14 est la projection horizontale d'une moitié de ce comble.

Une ouverture ronde est percée dans son long pan; la surface intérieure de cette ouverture est cylindrique; son axe est horizontal.

Le contour de l'ouverture est formé par deux parties de liernes *a, b*, qui font fonction de linçoirs, et par quatre aisseliers qui s'assemblent dans les liernes et dans deux petits chevrons *c, d*.

Sur le long pan, près de l'arêtier, et sur la croupe sont deux ouver-

tures rectangulaires égales et à la même hauteur; elles sont formées par deux liernes-linçoirs a, b et deux petits chevrons c, d ; la figure 13 représente l'ouverture en croupe coupée, quoique la croupe elle-même ne soit pas coupée.

Ces ouvertures ont pour objet de donner accès au jour; si elles devaient servir de passage pour des souches de cheminées, il faudrait que toutes leurs parois fussent verticales.

§ 3. *Linçoirs en combles sphériques.*

La figure 15, pl. LXXVII, est la projection verticale, et la figure 16 la projection horizontale d'un dôme sphérique dans lequel sont percées différentes ouvertures rondes en C, e, h, g et des ouvertures rectangulaires en m et en n , dans des positions différentes. Celle m est oblique par rapport aux chevrons, elle a ses parois internes verticales; l'autre, n , est dirigée horizontalement.

Le chevron CA partage la projection verticale en deux parties; celle à gauche $CB A$ présente l'élévation de l'extérieur de la coupole; celle à droite $CA C$ est une coupe par le plan de projection verticale qui laisse voir l'intérieur.

§ 4. *Linçoirs en toits coniques.*

La figure 17, pl. LXXVII, est la projection verticale ou l'élévation d'un comble conique, dont la figure 18 est la projection horizontale.

Les ouvertures 1-2-3-4, 5-6-7-8 sont rectangulaires et égales pour passages de cheminées. Leurs positions sont choisies de façon que dans la projection verticale celle de 1-2-3-4 puisse être regardée comme une projection de profil de celle de 5-6-7-8 vue de face.

Les ouvertures rectangulaires 9-10-11-12, 13-14-15-16 sont dirigées horizontalement, étant destinées à l'accès du jour. Leurs positions sont choisies comme celles des précédentes.

Une ouverture cylindrique à base ovale 17-18-19 et à parois verticales est tracée sur les deux projections.

La figure 19 est le profil du toit conique répondant à la trace CB .

La figure 20 est le profil du toit conique répondant à l'axe de cette ouverture, et dont la trace horizontale est CA .

II.

LUCARNES.

Lorsqu'une ouverture faite dans un toit est destinée seulement à l'accès de la lumière et qu'elle est d'ailleurs fort élevée au-dessus du plancher de la chambre ou salle qu'elle éclaire, on peut la fermer par un châssis vitré qui s'élève et s'abaisse comme un couvercle en tournant sur son côté horizontal supérieur (1).

Mais lorsqu'une ouverture dans un toit doit donner accès pour qu'on puisse voir au dehors de l'édifice, elle est couverte par une petite construction en charpente nommée *lucarne* (2), formée de deux portions triangulaires en pans de bois qui sont ses joues ou *jouées*, assemblées dans les chevrons latéraux de l'ouverture nommés *chevrons de jouées*, auxquels on donne plus d'épaisseur qu'aux autres chevrons.

Les joues d'une lucarne supportent son toit.

La lucarne se termine sur le devant par un châssis dormant formant fenêtre du côté de la façade de la bâtisse. Cette fenêtre peut être fermée par des châssis vitrés ou par des volets pleins.

La figure 14 de la planche LXXVIII est la projection verticale vue de face, et la figure 17 une autre projection verticale en coupe et profil d'une lucarne dont le toit est terminé par une croupe sur le devant, avec arêtier et empanons, et qui est lié au grand comble par des noulets, comme ceux que nous avons décrits page 4.

La panne *P* est coupée par le passage de la *lucarne*. Ordinairement la longueur des parties de cette panne qui se trouvent sans autre soutien que leur raideur, est fort petite, surtout si les fermes du comble sont peu écartées entre elles. Si les fermes sont assez écartées pour qu'on n'ose pas laisser sans soutien les bouts de la panne interrompus par la lucarne, on assemble ces bouts de panne dans deux linçoirs de panne établis sous les chevrons portant les joues de la lucarne. Les linçoirs de pannes s'assemblent dans la panne *R* et portent sur des blochets *B* de sablière, comme nous en avons indiqué un en *B R* dans le profil, fig. 17.

(1) Ce châssis est un ouvrage de menuiserie.

(2) Du latin *lucerna*, lanterne.

Nous avons réuni sur cette même planche LXXVII diverses sortes de lucarnes pour l'explication desquelles les dessins et la légende ci-après suffisent.

Fig. 15, lucarne avec fronton.

Fig. 16, coupe de profil de cette lucarne.

Fig. 13, lucarne avec fronton et cintrée intérieurement.

Fig. 10, coupe et profil de cette lucarne.

Fig. 12, lucarne bombée; son toit suit la courbure du fronton.

Fig. 11, coupe et profil de cette lucarne.

Ces quatre lucarnes sont dites *mansardes*.

Fig. 1, élévation; fig. 2, profil d'une lucarne *retroussée* que l'on emploie sur les combles de peu d'importance.

Fig. 7 et 8, élévation et profil d'une lucarne rampante.

Fig. 19 et 20, coupe et élévation d'une lucarne *capucine*; on la termine quelquefois par une croupe sur le devant.

Fig. 21, élévation, et fig. 21 profil d'une lucarne formant saillie sur la façade d'un bâtiment, avec palier soutenu par des consoles en fer pour le service d'un grenier.

Fig. 32, projection horizontale ou plan de cette lucarne, vue en dessus du toit.

La petite croupe de cette lucarne est conique; la frise sur laquelle elle est établie, est arrondie, comme la pièce qui forme le bord du palier, suivant deux surfaces cylindriques parallèles dont l'axe commun est vertical.

Cette frise est soutenue par des aisseliers cintrés, fig. 21, suivant une surface cylindrique dont l'axe est horizontal. Les intersections de ces surfaces cylindriques donnent la forme du cintre extérieur de la lucarne, dont la projection, fig. 22, est tracée par les courbes *a b c* construites par points.

Dans quelques ouvrages de charpenterie on a figuré le profil de cette lucarne par des courbes représentées fig. 34, tandis que son profil est celui fig. 21. Des aisseliers courbés, comme ceux projetés fig. 34, ne peuvent convenir qu'à la forme de lucarne projetée de face, fig. 31.

Fig. 23, élévation; fig. 24, profil d'une lucarne, également en saillie sur la façade d'un bâtiment, mais établie sur un plan carré, fig. 33.

La croupe du toit est soutenue par des aisseliers qui n'ont qu'une courbure égale à celle du cintre intérieur de la lucarne. Les pièces qui forment le palier sont des prolongements des solives du plancher. Elles sont soutenues par des aisseliers en bois, droits ou cintrés.

Fig. 35, profil d'un toit de lucarne sur un plan carré formant saillie, soutenue par des aisseliers droits.

Fig. 18, profil de la lucarne, fig. 23, à laquelle on a ajouté une

poulie pour monter les fardeaux; cette poulie est attachée à un sous-faitage ajouté à la charpente de la lucarne, afin de la porter au dehors du toit.

Fig. 26, élévation; fig. 27, profil d'une lucarne en œil-de-bœuf.

Fig. 25, élévation d'une lucarne octogonale.

Fig. 3, élévation; fig. 9, profil d'un évent pour donner de l'air dans un comble sans lucarne.

Fig. 28, élévation d'un évent cintré.

Fig. 29, profil, et fig. 30, élévation d'une lucarne moyen âge.

Fig. 36, élévation et fig. 37, profil d'une lucarne flamande; sa façade est en maçonnerie.

Fig. 5, élévation d'une lucarne établie dans un toit en chaume. Le châssis de la fenêtre de lucarne est établi en charpente sur le mur, formant la façade de la bâtisse; il est revêtu en planches; sa partie supérieure est découpée suivant une courbe qui forme le cintre dans son sommet, et qui se raccorde avec le niveau des sablières. Ce châssis donne appui aux chevrons, qui présentent une surface gauche engendrée par la ligne de pente du toit assujettie à s'appuyer sur la première panne et sur la courbe du bord supérieur du châssis de lucarne. Cette disposition a pour objet de permettre l'application des perchettes sur les chevrons et de former un toit de lucarne suivant le même système que le toit principal en chaume. (*Voy.* tome I^{er}, page 424.)

Fig. 4, élévation de l'extrémité du bâtiment couvert en chaume, pour montrer la lucarne de profil.

Fig. 6, coupe sur le milieu de la lucarne en chaume, par un plan vertical perpendiculaire à la façade du bâtiment.

Nous avons donné, fig. 12 et 14 de la planche LXXXI, deux formes de lucarne, sur lesquelles nous reviendrons en traitant des guitardes, dont leur forme les rapproche.

III.

LUNETTES.

§ 1. *Diverses combinaisons de lunettes.*

La rencontre ou pénétration des deux voûtes en charpente qui n'ont point la même hauteur forme une arête saillante dans ces deux voûtes. La moins élevée des deux voûtes est appelée lunette.

Les lunettes répondent aux passages des portes ou des fenêtres. La pièce de bois taillée suivant la courbure de l'arête d'une lunette est commune à la charpente de la grande voûte et à celle de la lunette; elle se trouve définie entre les surfaces parallèles d'intrados et d'extrados de deux voûtes. Cette pièce prend, comme la voûte la moins élevée, le nom de *lunette*; elle soutient les empanons cintrés et les liernes qui forment les surfaces des deux voûtes.

En combinant toutes les formes usitées pour les grandes voûtes, avec les mêmes formes pour les petites voûtes employées comme lunettes, on trouve un grand nombre de combinaisons que l'on peut quadrupler par les conditions de l'obliquité ou de la position rampante qu'on peut donner aux lunettes et même aux grandes voûtes, et qu'on multiplie encore par la nouvelle condition de faire coïncider les naissances des grandes voûtes et des lunettes, ou de les établir à des niveaux différents.

Il serait trop long de donner une énumération de ces combinaisons; chacun peut en dresser un tableau pour y choisir des cas sur lesquels il puisse s'exercer en construisant les épures. Nous nous bornons à figurer les combinaisons principales et dont on fait le plus fréquemment usage, dans la planche LXXIX, et à quelques explications indispensables, dans la légende suivante :

Fig. 1, lunettes cintrées en demi-cercle, pénétrant dans une voûte en berceau.

a, plein cintre vertical de la grande voûte en berceau comprise entre deux pans de bois verticaux *p*.

a' projection horizontale de l'espace couvert par le berceau, et des deux pans de bois.

b, projection verticale, du cintre d'une lunette et de la baie du pan de bois qui lui correspond, sur le plan vertical formant le parement extérieur de ce même pan de bois. La naissance de cette lunette est au niveau de celle du berceau.

b' projection verticale et projection horizontale de la baie dans le pan de bois.

b'', projections de la lunette dans le berceau.

c, projection sur le parement vertical du pan de bois d'une baie et d'une lunette, dont les naissances horizontales au niveau 1-2, sont plus élevées que celles de la grande voûte. Cette projection est rabattue sur le plan de l'épure.

Les pieds-droits de cette lunette, forment, au-dessous de la naissance de son cintre, entre le pan de bois et la grande voûte des joues planes, profilées par une partie du cintre de la grande voûte.

c', projections de la baie dans le pan de bois.

c'', projections de la lunette et de ses joues.

Les courbes qui marquent les projections horizontales de ces deux lunettes, sont obtenues par la méthode des sections parallèles, par une suite de plans horizontaux. Chacun de ces plans coupe les surfaces cylindriques de voûtes suivant des horizontales dont les intersections, en projection horizontale, déterminent les points des courbes pour chaque lunette.

Fig. 2, lunette biaisée et lunette en descente pénétrant un berceau en plein cintre compris entre deux pans de bois *p*.

d, plein cintre du berceau.

e, plein cintre de la lunette biaisée; ses naissances sont horizontales au niveau de celles du grand berceau.

e' projection horizontale de ce plein cintre, dont le plan est perpendiculaire à l'axe horizontal 3-4 de la lunette.

e'' projection de la baie biaisée dans le pan de bois.

f, projection de la lunette biaisée dans le berceau.

f', projection verticale de la baie en descente et de la lunette en descente rampante sur le parement du pan de bois; la ligne 5-6, sur le plan du cintre *d*, est la trace verticale du plan rampant des naissances de la lunette.

f'', projection de la baie en descente dans le pan de bois.

g, projection de la lunette en descente.

Fig. 3, lunette en berceau pénétrant un toit conique et une coupole, et lunette en surface annulaire pénétrant la même coupole.

Sur la droite de cette figure, sont les projections qui se rapportent à la première lunette.

d, sablière de la coupole.

e, chevron dans le profil du toit conique qui couvre la coupole.

d' sablières de la naissance de la coupole.

e', sablières du toit conique.

f, projection verticale de la lunette cylindrique; elle est construite concentriquement au cintre de la coupole pour économiser l'espace sur l'épave.

f', lunette cylindrique dans la coupole; ses arêtes sont dans des plans verticaux, et projetées verticalement par des lignes droites.

f'', projection du cintre de la lunette dans le toit conique; les courbes qui sont les projections de ses arêtes, sont obtenues par un système de plans horizontaux qui coupent le toit conique suivant des cercles, et le berceau de la lunette, suivant des lignes droites.

Sur la gauche, sont les projections qui se rapportent à la surface annulaire.

d est toujours le cintre de la coupole. De ce côté, cette coupole est entourée d'un pan de bois élevé sur un plan octogonal.

a est le profil de ce pan de bois octogonal.

d' plan des sablières de la coupole.

a', plan du pan de bois.

g, cintre de la baie percée dans le pan de bois.

g'', ses projections.

La surface de douelle de la voûte annulaire qui donne lieu à la lunette, est engendrée par le cintre de la baie qui se meut autour d'un axe horizontal projeté sur le point *i*; la ligne *ik* est tangente à l'arc externe de la coupole dans le point *k*, choisi sur cet arc; l'arc *km* détermine la position du centre de l'arc de la baie.

g' projection de l'arc de la lunette qui répond à l'intersection de la coupole avec la surface annulaire verticale de la lunette.

Fig. 4, lunette conique, et lunette conoïdale pénétrant un berceau compris entre deux pans de bois *p*.

g, cintre du berceau.

g', espace horizontal couvert par le berceau.

h, cintre de la baie conique dans le pan de bois, et projection de la lunette dans le berceau.

h', projection de la baie conique dans le pan de bois; toutes les naissances sont horizontales et au même niveau.

h'', projection de la lunette conique dans le berceau.

Le cintre *h* de la baie est la base de la surface conique d'intrados; son axe est l'horizontale 7-8, et son sommet est au point 8; la surface d'extrados parallèle à son sommet au point 8'.

k, cintre de la baie conoïdale dans le plan du pan de bois, et projection de la lunette conoïdale dans le berceau.

k', projection de la baie conoïdale du pan de bois.

k'', projection de la lunette conoïdale.

Les deux cercles concentriques du cintre de la baie dans le parement extérieur du pan de bois sont les deux courbes directrices des surfaces conoïdales d'intrados et d'extrados de la lunette.

Les lignes horizontales 10-11 et 10'-11' sont les deux axes horizontaux des deux surfaces conoïdales.

La génératrice de chacune est constamment dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe 10-11 de la grande voûte.

Les points des courbes qui forment les arêtes des pièces de bois des lunettes sont déterminés par une suite de plans passant par l'axe horizontal 10-11 de la grande voûte en berceau pour les courbes d'intrados des deux

lunettes, et pour les extrados par les lignes 8'-8' pour la lunette conique et 10'-11' pour la lunette conoïdale.

Ces plans coupent la surface des berceaux comme les surfaces coniques et conoïdales suivant des lignes droites dont les projections horizontales donnent, par leurs intersections, huit points pour chaque lunette.

Fig. 5, lunettes rampantes dans un berceau en descente.

l, cintre vertical du berceau en descente.

m j, profil en long du berceau en descente.

n, cintre des lunettes rampantes suivant la pente *m j* de la descente.

l', projection du cintre de la descente sur le plan de son profil.

o, coupe de la descente et des lunettes par un plan vertical passant par l'axe horizontal 1-1' des lunettes projeté au point 1 du profil *m j*.

La ligne 2-2' répond à la naissance 2, et la ligne 3-3' répond à la naissance 3 du profil *o*. Les arcs de cercle ponctués répondent aux sections qui seraient faites dans le berceau en descente, par des plans verticaux, passant par les naissances 2, 3 de la lunette.

On suppose que les deux côtés de la descente sont percés par deux lunettes égales.

Fig. 6, lunettes cylindriques dans une voûte conoïdale.

b a d, cintre de la voûte conoïdale; son axe est projeté horizontalement en *c*.

k, cintre de la lunette en berceau.

k' o k', projections des arêtes des deux lunettes dans la voûte conoïdale.

Ces projections sont construites par les rencontres des projections horizontales des lignes suivant lesquelles des plans horizontaux coupent les surfaces conoïdales et les surfaces cylindriques.

Nous avons haché les occupations des naissances des cintres sur le plan des sablières, ainsi que celle du poteau contenant les axes de la voûte conoïdale.

Fig. 7, lunette conique et lunette conoïdale dans une coupole sphérique.

v, cintre de la coupole, et coupes des lunettes.

v', plan des sablières de la coupole et des lunettes.

p, à droite de l'axe *c a*, projection du cintre de la lunette conique.

q, à gauche du même axe, projection de la lunette conoïdale.

Ces deux projections sont faites sur des plans perpendiculaires aux axes des lunettes, et, par économie de place sur l'épure, rapportées concentriquement sur la projection verticale du cintre de la coupole.

p', lunette conique. La surface conique de l'intrados a pour base un petit cercle vertical de l'extrados de la coupole sphérique; son axe est sur le diamètre *p' q'*, et son sommet au centre *c* de la coupole. La surface conique de l'extrados est parallèle à celle de l'intrados; sa base est

un second cercle de l'extrados de la coupole; son sommet est au point s du même diamètre.

Les quatre arêtes de cette lunette sont des demi-cercles contenus dans des plans verticaux tracés par moitié en p , et projetés horizontalement et verticalement en p' par des lignes droites.

q' , lunette conoïdale; son axe horizontal est pris sur le diamètre $p' q'$.

La surface conoïdale d'intrados et celle d'extrados ont pour directrice sur la surface extrados de la coupole chacune un demi-cercle compris dans un plan vertical; ces demi-cercles sont projetés en q par moitié, et par des lignes droites en q' . L'axe vertical, directeur de la génératrice horizontale pour le conoïde d'intrados, est projeté sur le centre c de la coupole.

L'axe vertical, directeur de la génératrice horizontale pour le conoïde d'extrados, est projeté en s' .

Les points des courbes d'intersections des surfaces conoïdales avec l'intrados de la coupole, sont déterminés par des plans horizontaux qui coupent en même temps les surfaces de la coupole suivant des cercles, et les surfaces conoïdales suivant des lignes droites.

Fig. 8, lunette conoïdale dans une voûte annulaire.

a , coupe de la voûte annulaire par un plan vertical ayant pour trace la ligne $o c$ du plan a' .

b , cintre extérieur de la lunette conoïdale projeté sur un plan vertical ayant la ligne 1-2 pour trace, et couché sur le plan horizontal.

d' , lunette conoïdale intérieure; ses surfaces d'intrados et d'extrados sont dans les mêmes conoïdes que celles de la lunette extérieure.

L'axe de la surface conoïdale d'intrados est projeté horizontalement en c , et verticalement en $c p$. L'axe de la surface conoïdale d'extrados est projeté horizontalement en c' et verticalement en $c'' p''$ sur le plan du profil a .

Les courbes des projections horizontales des lunettes sont déterminées par points par une suite de plans horizontaux qui coupent les surfaces annulaires d'intrados et d'extrados, suivant des cercles, et les surfaces conoïdales, suivant des lignes droites; les intersections de ces cercles et de ces lignes droites donnent 16 points qui appartiennent aux projections horizontales des courbes des lunettes.

§ 2. Épure détaillée d'une lunette.

Les lunettes dont nous venons de parler ne sont décrites que par des croquis, qui montrent seulement la disposition qu'on devrait donner aux

différentes parties de l'épure, qu'on voudrait construire pour l'étude de chacune d'elles.

Nous donnons, planche LXXX et LXXXI, une épure complète d'un cas qui n'est point compris dans les figures précédentes.

La figure 6 de la planche LXXX, est l'épure d'une lunette conique, biaise et rampante, dans un dôme sphérique. Cette combinaison ne peut se présenter que fort rarement, vu que dans la composition des bâtiments on satisfait toujours à des conditions de symétrie et de régularité dans leurs plans. Nous ne donnons donc cette épure que comme une étude utile.

La ligne $Y X$ est l'intersection des deux plans de projection, l'un et l'autre rabattus sur le plan de l'épure. Un deuxième plan de projection verticale, qui a pour trace la ligne $C O$ est également couché à gauche sur l'épure. La naissance de la coupole sphérique est comprise entre les deux cercles $Q O J$, $q o j$ concentriques tracés sur le plan horizontal; leur centre commun est en C , centre des surfaces sphériques d'intrados et d'extrados de la coupole. Ce point C est sur la ligne $Y X$. Le vitrail, ou cintre formé de deux cercles qui servent de bases aux surfaces coniques d'intrados et d'extrados de la lunette, est donné sur un plan vertical parallèle au plan de projection verticale, dont la trace horizontale est la ligne $Y' X'$ tangente au cercle extérieur de la naissance de la coupole. Les deux cercles concentriques du vitrail sont projetés sur le plan vertical en $V K U$, $v k u$.

Le sommet de la surface conique d'intrados de la lunette est projeté en S , sur le plan horizontal, en S' sur le premier plan de projection verticale, et en S'' sur le deuxième plan de projection verticale. Le sommet de la surface d'extrados, qui est dans le plan horizontal en Z , est projeté sur les plans verticaux en Z' et Z'' . L'axe commun des deux surfaces coniques est projeté en $S E$ sur le plan horizontal, de S' en E' sur le premier plan de projection verticale, et en $S'' E''$ sur le deuxième plan vertical. Cette ligne $S'' E''$ est en même temps la trace verticale du plan rampant qui contient les naissances de l'arc de lunette, et dont la trace est $Z Z'$ sur le plan horizontal.

La détermination des courbes qui forment les arêtes du cintre de la lunette, est un problème de géométrie descriptive; il s'agit de construire les intersections de deux surfaces coniques et des deux surfaces de sphère, le cintre de la lunette étant défini par l'espace compris entre ces quatre surfaces.

On obtient les points de ces courbes par une suite de plans qui coupent chacun les surfaces coniques suivant des lignes droites et les surfaces sphériques suivant des cercles. Ce moyen de solution peut être appliqué de différentes manières. Nous allons d'abord expliquer celui employé dans l'épure, fig. 6, pl. LXXX, qui est un des plus simples.

On divise les arcs de cercle $V K U$, $v k u$ du vitrail en un même nombre de parties égales; les lignes qui joignent les divisions de mêmes chiffres, sont les traces sur ce même vitrail d'un certain nombre de plans passant par l'axe commun des deux cônes, et qui coupent les surfaces de ces deux cônes suivant des lignes droites génératrices.

On opère pour toutes ces génératrices comme je vais l'indiquer pour celles répondant aux points de division m , m' de la projection verticale, et M , M' de la projection horizontale.

Ces génératrices sont projetées verticalement suivant les parallèles $Z m$, $S m'$, et horizontalement suivant les parallèles $Z M$, $S M'$.

On fait passer par chacune de ces génératrices, un plan vertical; les traces horizontales de ces deux plans sont les mêmes lignes $Z M$, $S M'$. On couche ces deux plans sur le plan horizontal en le faisant tourner autour de leurs traces. Les verticales projetées sur le plan horizontal en M , M' et en $p' m'$, $p m$ sur le vitrail, sont couchées perpendiculairement aux traces $Z M$, $S M'$, en $M n$, $M' n'$.

La ligne $Z n$, et sa parallèle $s n'$, sont les génératrices des surfaces coniques dans les plans rabattus. Le point s est le sommet de la surface conique d'intrados; $S s$ étant égale à $S'' e$ ou à son égale $S'' Z'$, élévation de ce sommet au-dessus du plan horizontal. Les deux plans qu'on vient de rabattre sur le plan horizontal, coupent les surfaces sphériques suivant quatre cercles. En abaissant du point e , centre de la coupole, une perpendiculaire sur les deux parallèles $Z M$, $S M'$, traces des plans recouchés, les points e et e' sont les centres des cercles tracés sur les surfaces sphériques par les deux plans verticaux, leurs rayons sont $e F$, $e f$, $e' F'$, $e' f'$.

Du point e avec les rayons $e F$, $e f$, et du point e' avec les rayons $e' F'$, $e' f'$, traçant des arcs de cercle, qui sont, dans les plans rabattus, les sections faites par eux dans les sphères, ils donnent, par leur rencontre avec les génératrices, $Z n$, $s n'$, les points 1', 2', 3', 4' (1); ses points sont ramenés par des droites verticales sur les projections des génératrices en 1, 2, 3, 4. Le quadrilatère 1-2-3-4, composé de deux lignes droites parallèles et des projections des deux arcs de cercle, est la projection horizontale de la section faite dans le cintre de la lunette, par le plan passant par l'axe commun des deux surfaces coniques et par la ligne $m m' E'$ sur le vitrail.

Ce même quadrilatère est renvoyé sur les deux projections verticales en 1-2-3-4, par des verticales que l'on n'a point tracées pour éviter la confusion des lignes, déjà en très-grand nombre sur cette épure.

(1) Pour éviter la confusion sur la figure, on n'a point tracé les arcs de cercle.

En répétant la même opération autant de fois qu'on le juge nécessaire pour une détermination régulière du cintre de la lunette, on obtient les projections d'une suite de quadrilatères qui sont autant de sections faites dans le même cintre par des plans passant par l'axe commun des surfaces coniques. En faisant ensuite passer des courbes par les angles homologues de ces quadrilatères, on a les trois projections du cintre de la lunette. Ces trois projections ne sont point indispensables pour l'exécution de la pièce du cintre : j'ai donné celle du deuxième plan vertical, afin que la description fût plus complète.

Fourneau, qui a donné, pl. LIII de son *Traité de l'Art du Trait*, l'épure d'un cas à peu près pareil, opère un peu différemment : au lieu de coucher les plans verticaux qui coupent les surfaces coniques et les surfaces sphériques sur le plan horizontal, en les faisant tourner autour de leurs traces horizontales, il les applique sur le plan vertical en les faisant tourner autour des verticales passant par les sommets des cônes. Cette méthode, qui donne les mêmes résultats, a l'inconvénient d'obliger à reporter avec le compas les distances des centres des cercles sur les plans verticaux, et de rapporter ensuite, avec le compas, les points obtenus sur la projection horizontale.

Un système de plans passant par l'axe commun des deux surfaces coniques, projeté en $Z E$, $Z' E''$, et $Z'' E'''$, couperait les deux surfaces coniques suivant des lignes génératrices, et les deux surfaces de sphère suivant des cercles. La construction de ces lignes dans ces plans rabattus donnerait immédiatement les quadrilatères et les points des mêmes courbes ; mais la construction serait plus compliquée. Toutes ces méthodes, même la première, que j'ai décrites pour faire connaître celles indiquées dans les *Traité de Charpenterie*, ont le grave inconvénient d'obliger à tracer une infinité de cercles, dont il faut déterminer les centres. Il est préférable de choisir le système de plan de façon qu'ils coupent les surfaces sphériques suivant des grands cercles, afin que ceux qui sont les traces des naissances puissent servir pour la construction des points des courbes.

Soit, en conséquence, $Z C R$, la trace horizontale commune à tous les plans qui doivent couper la surface conique d'intrados suivant des génératrices. Supposons qu'on opère d'abord pour le plan contenant la génératrice de la surface d'extrados projetée verticalement sur $Z' m$. La trace de ce plan qui contient cette génératrice sur ce vitrail, est la ligne $r m$. En rabattant ce plan sur le plan horizontal, le point m vient en h ; $M h$ étant perpendiculaire à $Z R$ et $R h$ et égal à $r m$.

$Z' h$ dans ce rabattement est la génératrice de la surface conique d'extrados. Les deux cercles suivant lesquels les surfaces sphériques sont

coupées par ce même plan, étant rabattus, se confondent avec les cercles de la naissance de la coupole. Ainsi les deux points d'intersection 5, 6, avec la génératrice Zh , renvoyés horizontalement, donnent les deux points 1, 2 de la projection horizontale du cintre de lunette.

La trace ZCR est commune à tous les plans qui doivent couper la surface conique d'extrados; mais comme le sommet S de la surface d'intrados n'est pas dans le plan des naissances, les traces des plans d'un second système passant tous par le centre C des sphères et par ce sommet S de la surface conique d'intrados, changent pour toutes les positions qu'on peut donner à ces plans.

Ainsi, prenant pour exemple le plan passant par le centre des sphères, et la génératrice de la surface d'intrados projetée en MS et $m'S'$, on construit le point où son prolongement perce le plan horizontal des naissances de la coupole. Ce point s'obtient en prolongeant $m'S'$ jusqu'en g , et renvoyant ce point sur la projection horizontale de la génératrice $M'S$ en g' . La ligne $g'CR$ est la trace du plan passant par le centre et coupant la surface conique d'intrados suivant la génératrice projetée en $m'S'$ et $M'S$. Cette trace déterminée ainsi, on opère comme ci-dessus pour construire le rabattement du plan autour de $g'CR$. La génératrice rabattue, ses intersections avec les deux grands cercles donnent deux points, dont les projections horizontales coïncident avec les points 3 et 4.

Les plus grandes difficultés de l'art du charpentier ne consistent pas toujours dans la conception d'un ouvrage ni dans les procédés de représentation d'une construction en charpente par des projections.

L'habileté, la sagacité et la prévoyance du charpentier ont à s'exercer sur la possibilité de l'édification, sur le choix des dimensions et des positions qu'on doit adopter pour les bois équarris par rapport aux formes des pièces courbes qu'on doit en tirer, à la direction des fibres et à l'économie du bois; sur le choix des projections préparatoires à l'exécution, soit qu'il s'agisse de leur herse ou de l'ételon, soit qu'il s'agisse des formes des patrons ou des gabarits, pour parvenir à un travail simple et exact.

La lunette dont nous venons de donner la description par une épure, est une des pièces les plus propres à faire ressortir l'habileté dont nous venons de parler.

Nous allons exposer quelques procédés que la géométrie descriptive fournit pour résoudre les difficultés que présente cette lunette.

Les plans qui déterminent les positions que doivent avoir les pièces de bois d'où doivent sortir les différentes parties d'un cintre, varient suivant ses courbures et la nature de ses surfaces. Mais, en général, le principe d'exécution est le même. Des quatre surfaces qui limitent le plus

ordinairement une pièce courbe, on commence par exécuter les plus faciles et celles surtout sur lesquelles on peut avec exactitude tracer les lignes qui sont nécessaires pour l'exécution des deux autres.

Dans le cas particulier de la lunette qui nous occupe, les deux surfaces à exécuter les premières sont celles coniques, parce qu'elles sont engendrées par des lignes droites et développables, et qu'on peut leur appliquer des patrons pour guider dans la coupe des deux surfaces sphériques.

Tout l'art consiste donc à bien choisir la disposition des pièces de bois pour qu'il soit moins difficile de construire sur leurs faces les traces des surfaces coniques.

Lorsque le rayon de courbure de la coupole est grand par rapport aux ouvertures des lunettes, et que d'ailleurs, comme cela arrive ordinairement, il y a symétrie dans la position des lunettes, c'est-à-dire qu'elles sont droites, leurs axes tendent au centre de la coupole, bien qu'elles soient en descente, leur courbure en projection horizontale n'est pas considérable, et les bois d'où doivent sortir les parties du cintre peuvent avoir leurs faces parallèles au vitrail; il est alors facile de construire les intersections des faces des pièces avec les surfaces coniques.

Mais, dans d'autres cas, les courbures du cintre de lunette sont grandes, et l'on est forcé de disposer les pièces de bois suivant ces courbures, comme on en voit une ponctuée en 13-14-15-16. Il s'agit donc de construire les traces des surfaces coniques sur les faces planes de ces pièces. On peut aussi choisir pour plan auquel les faces et toutes les pièces de bois seraient parallèles, celui qui lui-même serait vertical et parallèle à la ligne xy qui joint sur deux naissances du cintre de lunette. Pour économiser le bois, c'est-à-dire pour employer des pièces d'un moins fort équarrissage, on peut encore, quand la courbure n'est pas trop forte, choisir un plan également parallèle à la ligne xy , mais qui s'approche le plus possible du cintre en s'inclinant convenablement. Cependant la courbure du cintre peut être encore assez grande pour que ce plan nécessite des bois d'un très-fort équarrissage.

Puisqu'il s'agit ici d'une étude, nous supposerons le cas le plus défavorable, et qu'il faut, pour chaque pièce qui doit concourir à la composition du cintre, déterminer sa position de manière qu'elle ait le moindre équarrissage. Il en résulte la nécessité de faire un plus grand nombre de projections que pour aucun autre cas.

Nous supposerons qu'il s'agit d'exécuter l'arc de lunette qui a une grande courbure en trois parties; chacune d'elles devant être tirée séparément d'une pièce de bois. Supposons, en conséquence, que l'on veut tirer d'une pièce de bois une partie donnée de l'arc du cintre, la partie

comprise entre la naissance à gauche, et un point situé entre le quatrième quadrilatère 8-9-10-11 et le suivant.

Nous supposons une sphère ayant son centre au point A , angle du quadrilatère de la naissance, et pour rayon la longueur de la pièce de bois dans laquelle on doit couper la partie du cintre dont il s'agit. Cette sphère rencontre la surface d'extrados de la coupole suivant un cercle. Ce cercle a pour projection, sur le plan horizontal, une ellipse dont on pourrait construire les points au moyen d'un système de plans horizontaux coupant les deux surfaces sphériques suivant d'autres cercles, qu'on mettrait en projection horizontale, et dont les intersections donneraient les points de la courbe. Mais il est plus court et plus exact de déterminer immédiatement les axes de cette ellipse, et de la construire par leur moyen.

Par le centre de la coupole et le point A , soit un plan vertical dont la trace est CA . Ce plan coupe la surface extrados de la coupole suivant un grand cercle qui, dans le rabattement sur la gauche autour de la trace CA , se confond avec le grand cercle de la naissance, le point A se trouvant rabattu en A' . Faisant les cordes $A'P$ et $A'Q$ égales à la longueur de la pièce de bois, QP est la trace du plan du cercle suivant lequel la sphère que nous avons supposée coupe la surface de la coupole. En projetant les points P et Q en B et b , la ligne Bb est le petit axe de l'ellipse, son centre est en X milieu de Bb , et son grand axe est Yy égal à PQ . Cette ellipse $b y B Y$ est ponctuée sauf son arc 11-12, dont l'intersection avec la projection de l'arête extérieure et supérieure du cintre de lunette, marque le point G en projection horizontale, et G' en projection verticale, où se terminent les projections de la longueur donnée de la partie du cintre que l'on peut tirer de la pièce de bois.

Les arêtes de cette pièce doivent être parallèles à la ligne projetée en AG , et sa face supérieure doit être tangente à la partie sphérique du cintre de la lunette.

Par le point D , milieu de la projection horizontale AG de la longueur de la pièce, et par le centre de la coupole, je trace un rayon, et par l'extrémité de ce rayon je fais passer un plan tangent à la surface de la coupole. Le rayon dont il s'agit est contenu dans un plan vertical méridien qui a pour trace CDT . Ce méridien, rabattu sur la droite, porte le point D en D' , en faisant DD' égal à $d'd$ de la projection verticale. Le rayon CD' est prolongé jusqu'en T . La ligne $T'T'$, tangente au grand cercle, est la trace du plan tangent en T ; sa trace horizontale est NTN . En mettant le point a , deuxième angle du quadrilatère de la nais-

sance du cintre de lunette en projection sur le même méridien rabattu en a' ($i a'$ étant égal à $i a$ de la projection verticale), la parallèle $t a' r$ est la trace du plan parallèle au plan tangent qui limite l'épaisseur de la pièce de bois qui doit contenir la courbe. La trace horizontale de ce plan est $n' t n$.

Pour tailler la courbe, il faut d'abord, comme nous l'avons déjà dit, mettre à découvert les deux surfaces coniques; il faut par conséquent construire leurs intersections avec le plan tangent et le plan qui lui est parallèle. Cette construction et la suite de l'opération font l'objet des fig. 4 et 5 de la planche LXXXI, sur laquelle, pour éviter la confusion des lignes, nous avons rapporté toutes les parties de l'épure de la pl. LXXX, qui sont nécessaires à la construction qui va nous occuper.

Ainsi, comme précédemment, les cercles $Q J$, $q j$, fig. 4, pl. LXXXI, comprennent la naissance de la coupole sphérique. C est le centre de ces cercles et celui des surfaces de la coupole. S est la projection horizontale du sommet de la surface conique d'intrados, Z est le sommet de la surface conique d'extrados; les demi-cercles $V K U$, $v k u$ marquent le vitrail de la lunette. $Y X$ étant l'intersection des plans de projection, $Y' X'$ est la trace du plan du vitrail parallèle au plan de projection vertical; $C T'$ la trace du méridien passant par le point B de l'épure, pl. LXXX.

$T' T$ est la trace du plan tangent dans le méridien rabattu, et $N N$ sa trace horizontale.

Ce que l'on se propose dans cette épure, c'est de construire les traces des deux surfaces coniques du cintre de la lunette sur le plan tangent et sur son parallèle, qui contiennent les faces de la pièce de bois de laquelle doit sortir la partie du cintre comprise entre le point A et le point G , pl. LXXX.

Ces traces sont évidemment des ellipses. On pourrait les construire par points d'après les seules données de l'épure. Mais il est ici plus court et plus exact de construire ces ellipses d'après leurs propriétés géométriques (page 3), les éléments de cette construction étant faciles à déduire de l'épure.

Pour construire une ellipse, il faut que l'on connaisse au moins un de ses axes et un point de l'ellipse pris hors des axes; ou un diamètre, la direction de son conjugué et un point de l'ellipse hors des diamètres; et dans ce dernier cas, qui est celui de l'épure, si l'on connaît les tangentes aux extrémités du diamètre, on a la direction du deuxième diamètre.

Nous allons construire, dans le plan tangent à la surface extérieure de la coupole, qui a pour traces les lignes $T' T$, $N N$, les traces parallèles de deux plans tangents à la surface conique d'extrados d'abord.

Ces traces seront deux tangentes à l'ellipse à décrire dans le plan tangent à la sphère; et comme elles doivent être parallèles d'une part, elles appartiennent à deux plans tangents à la surface conique dont l'intersection passant par son sommet est parallèle au plan tangent à la sphère; parmi toutes les intersections passant par le sommet de la surface conique parallèle au plan tangent à la sphère, on est maître de choisir celle dont la position donne la construction la plus commode : nous choisissons l'intersection des deux plans tangents à la surface conique qui est dans un plan vertical. Ce plan vertical, nécessairement perpendiculaire au plan tangent à la sphère, a pour trace horizontale la ligne $Z T'$ parallèle à la ligne $C T$, trace horizontale du grand cercle de la coupole perpendiculaire à son plan tangent, et, comme celle-ci, perpendiculaire à la trace $N N$ de ce plan tangent à la sphère. Ce plan vertical coupe le plan du vitrail suivant une verticale passant par le point T' et projetée verticalement dans le vitrail rabattu suivant $L F$. Ce plan vertical, en tournant autour de sa trace horizontale $Z T'$, peut s'appliquer sur le plan horizontal; sa partie inférieure à l'horizon s'applique sur la gauche, de façon que la verticale passant par le point T' vient se confondre avec la ligne $T f$. La trace du plan tangent, dans ce plan, serait évidemment un parallèle à la ligne $T T'$ passant par le point T' ; par conséquent, la ligne parallèle au plan tangent, dans ce même plan vertical rabattu, est la ligne $Z f$ parallèle à $T T'$. Ce point f est celui où cette ligne perce le plan vertical. Pour mettre ce point en projection verticale sur le plan du vitrail, il faut faire $L F$ égal à $T' f$; les tangentes $F E'$, $F E''$ à l'arc du vitrail sont, par conséquent, les traces de deux plans tangents au cône sur ce même vitrail, et les deux mêmes plans auront pour traces, sur le plan tangent à la sphère, deux parallèles perpendiculaires à sa trace horizontale $N N$.

Les lignes $f e''$, $f e'$ sont les traces des deux plans tangents parallèles aux précédents, dont l'intersection passe par le sommet projeté en S de la surface conique d'intrados.

Une considération fort simple va donner les points où les génératrices, répondant aux points de contact des surfaces coniques, percent le plan tangent à la sphère.

Les points E'' , e'' sont les points de contact des tangentes $F E''$, $f e''$; ils se trouvent de chaque côté dans un plan passant par l'axe commun des surfaces coniques et dont les traces sur le vitrail sont projetées suivant $E' r$, $E'' r$. Les points r et r sont projetés horizontalement sur la trace du vitrail en R et R ; par conséquent $Z R$ et $Z R$ sont les traces horizontales de ces mêmes plans. Elles rencontrent en N , N , n , n , les traces du plan tangent et de son parallèle.

Le plan vertical passant par l'axe commun $Z E$ des cônes, étant couché sur la gauche, cet axe est la ligne $Z e$. La ligne $v z$ est, dans ce même plan, la trace du plan tangent à la coupole. Cette trace s'obtient en faisant la verticale $Q O$ recouchée égale à la verticale $T P$, qui est aussi recouchée dans le plan qui a servi à déterminer la tangente $T' T$. Le point e' est le point où l'axe des surfaces coniques perce le plan tangent à la coupole. Sa projection horizontale est en H . Les lignes $H N, H' N$ sont, par conséquent, sur le plan tangent à la coupole, les projections des traces des deux plans passant par l'axe commun des surfaces coniques, et par les deux génératrices de contact.

Les points $D D'$, où elles coupent les projections $Z g, Z g'$ des génératrices de contact prolongées sont les projections des points où les génératrices percent le plan tangent à la coupole.

En faisant tourner le plan tangent autour de sa trace $N N$, pour l'abattre en herse sur le plan horizontal, le point H tombe en H' .

Ce rabattement se fait en égalant $u H H'$, perpendiculaire à la trace du plan tangent, à $T' H$ (1). Les lignes $H' N, H' N$ sont dans le plan tangent à la coupole rabattu en herse, les traces des deux plans qui ont pour traces verticales les lignes $Z R, Z R$, et les points $d d'$ déterminés par des perpendiculaires $n' D d', n' D d'$ à la trace $N N$, sont dans le plan tangent à la coupole couché à la herse, les points de contact des tangentes à l'ellipse, parallèles entre elles et perpendiculaires à la trace de ce plan. La ligne $d d'$ est un diamètre de cette ellipse. Son diamètre conjugué passe par son milieu O , et est parallèle aux tangentes $d n, d n$. Il ne s'agit plus que d'avoir dans le plan tangent à la coupole, un point appartenant à la surface conique d'extrados; nous choisissons celui en lequel la génératrice de cette surface conique contenue dans le plan vertical passant par l'axe, perce le plan tangent. Ce plan vertical a pour trace horizontale la ligne $Z E$. La hauteur $Z K$ du point K , au-dessus du plan horizontal, portée de E en k , donne, dans le plan vertical couché, la position de la génératrice qui perce en z le plan tangent; ce point ramené en projection horizontale est en z' ; ce point projeté à la herse, c'est-à-dire sur le plan tangent, couché sur le plan horizontal, et en k' . On a donc ainsi pour décrire l'ellipse d'un diamètre $d d'$, la direction de son conjugué parallèle à ses tangentes, et un point k' de la courbe.

Cette courbe $1 d K' 1$ se trace ensuite par le moyen d'ordonnées paral-

(1) Le hasard fait que, dans cette épure, le point H de la ligne $Z v$ tombe sur la ligne $T' T$.

lèles aux tangentes extrêmes, proportionnelles à celles d'un cercle décrit sur le diamètre de l'ellipse, et ayant les mêmes abscisses (1).

Par une construction pareille, on déterminera de la même manière les éléments du tracé de l'ellipse, qui est la trace de la même surface conique, sur le plan parallèle au plan tangent à la surface de la coupole. Mais une considération simplifie beaucoup la construction. Cette deuxième ellipse est semblable à la première, puisqu'elle appartient à la même surface, et qu'elle est sur un plan parallèle à celui sur lequel la première est tracée; ainsi, la trace horizontale de ce plan est la ligne $u u$; $r' z''$, parallèle à $v z$, est la trace du plan parallèle au plan tangent sur le plan vertical, passant par l'axe commun; e'' est le point où l'axe perce ce plan parallèle, H' sa projection horizontale, et H'' sa projection à la herse.

De même le point z'' , en lequel la génératrice supérieure perce le plan parallèle au plan tangent mis en projection en z''' , est mis à la herse en k'' ; de sorte que l'on a pour cette seconde ellipse $2 d' k' d' 2$, son diamètre $d' d'$, ses tangentes parallèles à celles de la première, et un de ses points, k'' .

Les ellipses qui sont les traces de la surface conique de l'intrados de la lunette sur les mêmes plans sont semblables aux deux premières.

Leurs éléments sont déterminés par des parallèles aux lignes qui ont servi à déterminer les éléments des premières. Ainsi, les points g', g' sont les projections des points e'', e'' ; les lignes $S g', S g'$, qui déterminent les points $D' D'$, sont parallèles aux lignes $Z g, Z g$, et des perpendiculaires à la trace du plan tangent par les points D', D' , donnent les points $d'' d''$ qui fixent la longueur du diamètre de l'ellipse parallèle à $d d$, et la ligne $s k'$ est parallèle à la ligne $Z k$; elle détermine le point z''' , par suite le point z'''' , et enfin le point k''' , qui appartient à l'ellipse $3 d'' k'' d'' 3$.

Les mêmes parallèles déterminent enfin les points d''', d''' , et par conséquent le diamètre $d''' d'''$, les points z'''' , z'''' , et le point k'''' , qui appartient à l'ellipse $4 d''' k''' d''' 4$.

Les ellipses $1 d k' d 1$, $2 d' k' d' 2$, $3 d'' k'' d'' 3$, $4 d''' k''' d''' 4$, sont donc les traces des surfaces coniques sur le plan tangent à la surface de

(1) Soit, fig. 8, pl. LXXXI, $d d$, un diamètre d'une ellipse, $d t, d t$, deux tangentes, parallèles aux extrémités de ce diamètre; le diamètre conjugué sera dans la position $c G$ parallèle à ces tangentes. Le point R est un point donné de l'ellipse qu'il s'agit de tracer. Soit décrit demi-cercle $d g d$, soit tracé $K p$ parallèle aux tangentes, et l'ordonnée $P m$, au cercle; soit enfin tracé $m R$. Pour déterminer le point de l'ellipse situé sur une ordonnée $q r$, parallèle à $d t$, soit l'ordonnée au cercle $q n$, par le point n on trace $n r'$ parallèle à $m R$, le point r' appartient à l'ellipse. Ayant les diamètres, on peut construire les axes si l'on préfère tracer la courbe par leur moyen.

la coupole et sur son parallèle. Nous avons tracé ces quatre courbes presque entières sur l'épure pour faire comprendre l'ensemble de l'opération; mais on conçoit qu'en réalité il n'est nécessaire de tracer que les arcs qui doivent se trouver sur les faces de la pièce de bois, et être compris tout au plus entre les points d, d', d'', d''' , et les points k, k', k'', k''' .

Les quadrilatères 20-21-22-23, 24-25-26-27, dont les côtés en lignes droites limitent, sur le plan tangent et sur son parallèle, l'étendue de la partie du cintre qu'il s'agit de couper, s'obtiennent aisément en construisant sur le plan tangent et sur son parallèle : 1° les traces du plan rampant de la lunette, passant par son axe et qui a pour trace verticale sur le vitrail la ligne $V U$, pour les côtés 20-23, 21-22 du premier quadrilatère; 2° les traces du plan également par l'axe qui a pour trace sur le vitrail la ligne $E' G''$, pour les côtés 26-27, 25-24 du deuxième quadrilatère.

Le quadrilatère ponctué 1-2-3-4 est la projection à la herse de la pièce équarrie qui contient la portion de courbe dont la longueur est égale à la ligne $A' O$ ou $A' P$ de la figure 6, pl. LXXX; la face supérieure de cette pièce est dans le plan tangent et la face inférieure dans son parallèle.

Avant de couper les surfaces coniques, il faut marquer sur les traces de ces surfaces les points où elles sont rencontrées par une suite de génératrices, pour que ces génératrices servent de guides en taillant ces surfaces. Ces génératrices passent toutes par les sommets des surfaces coniques auxquelles les courbes appartiennent; ces sommets sont projetés sur le plan tangent à la herse dans les points Z''' et s'' . Les plans normaux, pour la construction de ces points, sont couchés à droite. Nous n'avons point tracé les projections des génératrices, ni les traits ramenerets, pour ne point compliquer davantage l'épure.

Les développements des deux surfaces coniques sont tracés, fig. 5. Ces développements sont construits au moyen de l'arc du vitrail $V K U$, divisé en parties égales, et des véritables grandeurs des génératrices obtenues par leurs projections; les deux sommets sont réunis au même point S . La courbe $V' K' U'$ est le développement du demi-cercle $V K U$, et la courbe $v' k' u'$ est celui du demi-cercle $v k u$. Les surfaces coniques étant semblables, les développements le sont aussi. Nous avons marqué sur ce double développement les zones semblables qui répondent, dans les surfaces coniques, à l'épaisseur de la voûte de la coupole. Des hachures pleines distinguent la zone qui doit être appliquée sur la surface conique d'extrados; les hachures ponctuées marquent la zone qui répond à l'intrados.

Pour compléter ce développement, il n'y a plus qu'à y marquer les

traces du plan tangent et de son parallèle, afin que chaque zone puisse être appliquée sur la surface conique à laquelle elle se rapporte, après qu'elle est coupée, et dans la situation qui lui convient entre les deux faces de la pièce de bois.

Nous n'avons point marqué ces traces, parce que l'opération, pour les construire, est la même que celle qui a servi à tracer les zones, puisqu'il ne s'agit pour chaque surface conique que de porter sur les génératrices les véritables longueurs depuis le sommet de la surface jusqu'au point où elles rencontrent la face de la pièce de bois qui est dans le plan tangent et celle qui lui est parallèle.

Lorsque les patrons, donnés par les développements dont nous venons de parler, sont appliqués sur les surfaces coniques, dans les positions repérées sur des génératrices, on trace les courbes, puis on taille les deux surfaces de sphère en suivant les contours de ces courbes.

Les différentes parties du cintre de lunette étant taillées, on les établit sur ligne, sur une projection en herse, que l'on construit pour les réunir et piquer leurs assemblages.

Cette projection en herse, pour l'assemblage des pièces, est faite sur un plan que l'on choisit de façon qu'il s'écarte le moins possible du cintre de lunette : il n'est pas nécessaire qu'il soit vertical ; on peut le choisir incliné à peu près comme nous avons choisi ci-dessus le plan tangent à la sphère. Il n'est pas même nécessaire que les courbes de la lunette soient projetées entières sur ce plan ; il suffit que des lignes et des points de repère, établis dans les autres projections, y soient projetés et marqués avec précision, afin que l'on puisse établir avec exactitude, de niveau ou en pente et de dévers, les pièces dont on doit piquer les assemblages.

Nous ne donnons point les constructions de ces lignes et de ces points de repère sur ce plan à la herse, parce qu'elles ne présentent aucune difficulté.

Si l'on suppose qu'un pan de bois cylindrique ou en tour ronde enveloppe la coupole, et qu'il a pour projection le même espace qui est entre les cercles $Q O J$, $q o j$, qui marquent la naissance, les mêmes surfaces coniques, qui forment la lunette, donnent aussi un cintre dans l'épaisseur du pan de bois en tour ronde. Nous avons marqué, sur la projection horizontale de ce pan de bois, pl. LXXX, les rectangles, tel que celui $F F f f$, qui sont compris entre les génératrices des surfaces coniques et les parements du pan de bois.

Nous avons aussi marqué, fig. 6, pl. LXXX, deux liernes : l'une est projetée verticalement et horizontalement en E avec ses abouts et occupations, sur la face sphérique extérieure de la lunette, en 25-26-27-28, et sur la

face verticale intérieure de la baie en tour ronde, en 30-31-32-33. La deuxième est projetée aussi verticalement et horizontalement en ω , mais elle s'assemble d'un bout dans le cintre de la lunette en 17-18-19-20, et nous supposons l'autre bout terminé au plan vertical du vitrail en 21-22-23-24.

Enfin, un empanon w est tracé en projection horizontale seulement; il s'assemble dans les deux liernes, et l'on voit la projection de son occupation hachée sur une des faces de la lierne ω .

Cette pièce de trait est une des plus compliquées qu'on puisse rencontrer, quoique nous en ayons écarté quelques circonstances, telles que celles où les sommets des deux surfaces coniques seraient hors du plan des naissances de la coupole, et celle où le plan des naissances de la lunette serait rampant, de telle sorte que sa ligne de pan ne se confondit pas avec l'axe commun des deux surfaces coniques.

Nous n'avons point terminé cette épure dans quelques-unes de ses parties qui ne présentent aucune difficulté. Nous conseillons aux charpentiers qui veulent acquérir de l'habileté dans l'art du trait, à s'exercer sur des épures qui aient pour objet, comme celle-ci, des courbes à doubles courbures non symétriques.

Si l'on ne tient point à l'économie du bois, on peut se dispenser de faire toutes les opérations graphiques que nous avons décrites, ayant pour objet la détermination des dimensions des pièces qui sont sous le moindre volume, capables de fournir les parties des courbes suivant lesquelles on a divisé l'arc de lunette. Dans ce cas, l'opération graphique est très-simplifiée. On doit alors, sans chercher d'autres projections, faire immédiatement celle de la lunette à la herse, sur un plan dont on choisit la position de façon que les diverses parties de l'arc de lunette en soient le moins éloignées possible. Ce plan est celui sur lequel la courbe poserait par trois points; les deux points aux angles des naissances et un point sur la partie de l'arc la plus convexe du même côté.

Les pièces de bois qui doivent contenir les parties de courbes sont alors comprises chacune entre deux faces parallèles perpendiculaires au plan de la herse, et qui touchent la pièce à couper, et deux faces à angle droit sur celles-ci, mais rampantes suivant l'inclinaison nécessaire pour être tangentes à la courbe que la pièce doit contenir. Le reste de l'opération est le même pour ce qui concerne la construction des panneaux et des développements des surfaces coniques.

CHAPITRE XXI.

CROIX DE SAINT-ANDRÉ EMPLOYÉES DANS LES COMBLES.

I.

CROIX DE SAINT-ANDRÉ DANS LES COMBLES PLANS.

§ 1. *Croix de Saint-André droites.*

Nous avons décrit, p. 287 du tome I^{er}, les assemblages connus sous le nom de croix de Saint-André. Nous avons indiqué leur emploi dans les pans de bois, p. 344, dans les fermes sous-faites, p. 483, et nous avons annoncé, p. 484, que nous donnerions des exemples de leur emploi dans les combles.

Les fermes des figures 6 et 8 de la planche LXXXV ont leurs pans de toit consolidés par des croix de Saint-André. Nous avons projeté, fig. 10, sur le plan de l'un des pans du comble dont la ferme, fig. 6, fait partie, la portion de ce comble qui contient les croix de Saint-André, et nous supposons que cette projection est faite suivant une coupe par la ligne $x y$, fig. 6. C'est le pan couché (*liegender Dachstuhl*) des charpentiers allemands. Les liernes $a b$ sont débillardées de façon à s'assembler par entailles dans le tirant d et l'entrait e ; elles présentent, perpendiculairement aux pans du toit, les faces qui reçoivent l'assemblage des bras f, g , des croix de Saint-André.

L'emploi de ces croix de Saint-André, dans les pans des combles, a pour but, comme dans les fermes sous-faites, de s'opposer au hiement des combles dans le sens de la longueur des bâtiments. Dans la fig. 10, dont nous venons de parler, les croix de Saint-André sont droites et planes, mais elles peuvent être biaisées, et l'on peut aussi les employer dans des combles courbes.

§ 2. *Croix de Saint-André biaisées.*

Les figures 14, 15, 16 de la planche LXXV présentent une épure de croix de Saint-André dans le plan d'une croupe biaise.

La figure 14 est une projection verticale; la figure 15, une projection

horizontale, et la fig. 16, une herse du pan de croupe, qui est tournée pour trouver place dans le dessin. La ligne bd est la ligne d'about du pan de croupe, le point p' répond au poinçon, le triangle $mp p'$ est le profil droit de la croupe, le triangle $b p' d$ est le pan de croupe construit rabattu sur la projection horizontale. C'est le même qui est reporté en herse, fig. 16.

Les arêtiers sont tracés dans les projections, fig. 14 et 16; ils sont ponctués sur la herse, fig. 16. A gauche, fig. 14, les pièces 1-4, 2-3, de la croix de Saint-André sont débillardées, de façon que leurs parements sont dans les deux plans du pan de croupe, et leurs deux autres faces sont perpendiculaires au pan de projection verticale; leurs horizontales sont parallèles aux longs pans, de façon que chaque pièce est projetée verticalement par deux lignes parallèles; on les établit en projection verticale entre deux horizontales xy, vz .

Les lignes qui marquent leurs faces inférieures, passent par les points 1, 2, pris sur les faces des arêtiers dans l'horizontale xy . Elles sont tangentes à des arcs de cercle, dont le rayon est égal à leur épaisseur, et décrit des points 3 et 4, où les faces des arêtiers sont rencontrées par l'horizontale vz . Ces mêmes points appartiennent aux lignes qui sont les projections de leurs faces supérieures. La projection verticale ainsi tracée, les points dans lesquels les horizontales xy, vz , et les faces des pièces coupent les lignes de l'arêtier, sont renvoyés sur les mêmes lignes de la projection horizontale; ces points servent à déterminer la projection horizontale de la croix de Saint-André, dont les points sont projetés à la herse sur les lignes des arêtiers et des chevrons de croupe au moyen des horizontales xy, vz , et des lignes perpendiculaires à la ligne d'about.

Sur la droite des mêmes figures, la croix de Saint-André est construite en pièces *déversées*, 5-8, 6-7, comme l'empanon déversé (tome I^{er}, p. 536). Leurs faces d'assemblage sont perpendiculaires au plan de croupe, et par conséquent au plan de la herse. Les mêmes lignes horizontales xy, vz , déterminent leurs emplacements, et la position des pièces de la croix de Saint-André. La construction pour tracer cette croix de Saint-André à la herse, est exactement la même que celle que nous avons indiquée pour la croix de Saint-André 1-2-3-4, tracée sur la projection verticale de la croupe.

Lorsque la croix de Saint-André déversée est ainsi construite à la herse, il est facile de la faire paraître sur la projection verticale et sur la projection horizontale, en rapportant ses points sur les lignes de l'arêtier et du chevron de croupe.

Nous avons marqué par des hachures, sur les deux projections et sur la herse, les occupations des croix de Saint-André sur les faces verticales des arêtiers et du chevron de croupe dans lesquelles elles s'assemblent.

II.

CROIX DE SAINT-ANDRÉ DANS LES COMBLES COURBES.

§ 1. *Croix de Saint-André dans un comble cylindrique.*

Fig. 14, pl. LXXIX, $a b$, profil ou cintre de la voûte cylindrique; $c b$, horizontale au niveau de la naissance du berceau; a , faitage; p, q , pannes ou liernes entre lesquelles est la croix de Saint-André.

Cette croix de Saint-André peut être établie de deux manières. Ses faces d'assemblage peuvent être perpendiculaires au plan tangent, à la surface cylindrique dans la génératrice projetée en t , située au milieu de la distance entre les deux pannes, la trace de ce plan sur le profil étant la ligne $x y$; ou bien elles peuvent être perpendiculaires à un plan vertical parallèle à l'axe de la voûte cylindrique en passant par le faitage, et qui a la ligne $a c$ pour trace.

La fig. 13 présente la projection des pannes ou liernes et de la croix de Saint-André, dans le premier cas. Cette projection est faite sur le plan tangent; le cintre $a' b'$ est le profil de la voûte cylindrique, il est le même que celui $a b$ de la figure 14. Mais il est couché sur le plan tangent, après avoir tourné autour de son diamètre $m n$, parallèle à ce plan tangent dont la trace, dans le profil, est la ligne $a c$; $t' t$, est la ligne de contact du plan tangent avec la surface cylindrique.

La position des pièces qui forment une croix de Saint-André régulière est déterminée par les lignes du milieu 1-4, 2-3. Leurs faces d'intrados et d'extrados sont dans les surfaces de la voûte cylindrique, leurs faces d'assemblage sont perpendiculaires au plan tangent, elles sont projetées par des lignes parallèles aux lignes du milieu 1-4, 2-3. L'une de ces pièces, celle 2-3, est projetée sur un plan perpendiculaire au plan tangent, couchée sur la droite en 2'-3'. Les arêtes de cette pièce sont des arcs d'ellipses qui sont tracées dans les surfaces cylindriques, par les faces d'assemblage.

La figure 15 est une projection de cette même croix de Saint-André, sur un plan vertical parallèle à l'axe de la voûte cylindrique.

Dans la fig. 12, qui est une projection verticale sur un plan parallèle à l'axe de la surface cylindrique, les faces d'assemblage des pièces 1-4, 2-3, de la croix de Saint-André, sont perpendiculaires au plan tangent : c'est le deuxième cas.

$a'' b''$ est le cintre de la voûte cylindrique; p et q sont les liernes, elles ont leurs faces d'assemblage horizontales. Une projection de la pièce 1-4 sur un plan parallèle à ses faces d'assemblage et couché sur la gauche est tracé en 1'-4'. Ses arêtes sont, comme dans la fig. 13, des arcs d'ellipses.

§ 2. Croix de Saint-André dans une coupole sphérique.

Comme dans l'article précédent, la croix de Saint-André peut avoir ses faces perpendiculaires à un plan tangent à la sphère, dans le point où les lignes de milieu des pièces de la croix se croisent, ou perpendiculaires à un plan vertical passant par l'axe de la coupole.

Le premier cas est représenté fig. 10, pl. LXXIX. $d o d$ est le cintre de la coupole en projection verticale sur le grand cercle, passant par le centre c de la sphère. $d o' d$ est, dans le plan horizontal, la naissance de la coupole, la ligne $d d$ étant l'intersection des deux plans de projection, dans laquelle est le centre de la coupole. p et q sont les projections verticales de deux cours de pannes, entre lesquelles est établie la croix de Saint-André. On n'a mis en projections horizontales et ponctuées que les cercles qui limitent la largeur des faces des pannes qui reçoivent l'assemblage des bras de la croix de Saint-André.

Quelle que soit la position adoptée pour les faces d'assemblage, on veut que la croix soit symétrique, et pour cela on astreint les lignes du milieu des croisillons à rencontrer ces pannes dans les points a, e, i, u , où elles sont coupées par deux plans parallèles verticaux perpendiculaires au plan de projection, dont les traces sont les lignes $m m', n n'$. Les cordes $a u, e i$ sont parallèles et égales; lorsque le méridien vertical projeté sur $o o'$ est recouché sur la droite, le plan qui contient les cordes $a u, e i$, a pour trace la ligne $c'' a''$.

Si l'on imagine deux grands cercles de la sphère, l'un par les points a, i , l'autre par les points u, e ; ces deux cercles couperont le plan qui contient les cordes $a u, e i$ suivant les diagonales $a i, u e$, et leur intersection k sera un point de l'intersection des deux grands cercles. Le point k est dans le méridien, et dans le rabattement de ce méridien, il est en k' . Par conséquent, le diamètre $h k''$ est l'intersection des deux grands cercles. Dans ce même rabattement, la ligne $x y$, perpendiculaire à $h k''$, est la trace du plan tangent auquel doivent être perpendiculaires les faces d'assemblage de la croix de Saint-André.

Pour établir la projection de la croix sur le plan tangent, il faut faire tourner la coupole ou sphère autour de l'axe $d d$, jusqu'à ce que le point k

se projette en c . Alors la ligne $h k''$ est aussi projetée en c , et le plan tangent est alors parallèle au papier de l'épure.

D'après ce mouvement de la sphère, les cercles qui limitent la largeur des faces des pannes qui reçoivent les assemblages de la croix de Saint-André, se projettent sur le plan tangent, suivant des ellipses, qu'il est facile de construire, leurs grands axes étant égaux aux diamètres des cercles dont elles sont les projections; et leurs petits axes égaux aux projections de ces mêmes diamètres sur la trace du plan tangent.

Ces ellipses projetées, la croix de Saint-André est aisée à tracer sur le plan tangent parallèle au papier, les lignes de milieu 1-4, 2-3 sont les traces de deux grands cercles de la sphère, les points 1, 2, 3, 4 étant toujours dans les parallèles $m n'$, $n n''$.

La projection horizontale montre celle de la croix de Saint-André en 1'2'3'4', ses arêtes sont des arcs d'ellipses, projections des cercles qui résultent des sections de leurs faces dans les surfaces de sphères de la coupole.

En abattant les grands cercles 1-4, 2-3 autour de leurs diamètres 7-8 et 5-6, on a les projections des croisillons en 1''-4'', et 2''-3'' sur leurs faces d'assemblage et suivant leurs véritables formes et grandeurs.

La figure 11 est la projection verticale de la coupole et de la croix de Saint-André que nous venons de construire.

Le deuxième cas est représenté, fig. 12, par une projection verticale et une projection horizontale. La ligne $d d'$ étant la commune section des deux plans de projection. Cette disposition ne s'emploie que lorsque les pannes ou liernes $p q$ ont leurs faces supérieures et inférieures planes et horizontales, parce qu'alors l'assemblage de la croix avec les pannes est plus facile que lorsque les pannes ont leurs faces d'assemblage normales aux surfaces de la coupole.

La projection horizontale fait voir la croix de Saint-André dégagée des pannes que l'on a supposé être enlevées, n'ayant projeté en lignes ponctuées que les cercles qui limitent leurs faces d'assemblage avec la croix ou les abouts des croisillons.

Les faces d'assemblage de cette croix de Saint-André sont des plans qui coupent les surfaces sphériques de la coupole, suivant des cercles qui sont couchés à droite et à gauche, pour donner la projection de chaque croisillon 1-4, 2-3 sur une de ses faces d'assemblage en 1'-4', 2'-3'.

Dans la fig. 13, qui est une projection verticale, nous avons supposé qu'au lieu de croix de Saint-André, on a employé, comme cela se pratique quelquefois, des aisseliers et des jambettes assemblés entre les chevrons cintrés et les pannes. Sur la gauche, cette figure présente deux projections des ais-

seliers et jambettes, pour le cas où les faces d'assemblage des pannes $p q$ sont horizontales. A droite, sur la même figure, les pannes $p q$ ont leurs faces d'assemblage normales aux surfaces de la coupole. Les aisseliers et jambettes assemblés sont également figurés par deux projections, l'une des aisseliers et jambettes assemblés au chevron qui se présente de face, l'autre de ceux qui sont assemblés au chevron de profil. Les jambettes 1 et 2 sont projetées en 1' et 2' sur leurs faces d'assemblage; leurs arêtes sont des arcs de cercle résultant des sections faites par les plans de leurs faces dans les surfaces sphériques de la coupole, les occupations et abouts des assemblages sont marqués par des hachures dans tous les points où les pièces s'assemblent.

La fig. 14 est une projection horizontale de la couronne que forme une panne supérieure s dans laquelle est une croix formée par les prolongements t et r des chevrons.

§ 3. Croix de Saint-André dans des combles coniques.

Dans le comble conique projeté verticalement et horizontalement, fig. 15, pl. LXXIX (1), les pannes $p q$ ont leurs faces supérieures et inférieures planes et horizontales; la croix de Saint-André établie entre elles est comprise entre deux plans verticaux perpendiculaires au plan de projection verticale, et dont les lignes $m m'$, $n n'$ sont les traces. Les faces d'assemblage des pièces croisées sont dans des plans perpendiculaires au plan vertical; les projections de leurs arêtes sont des arcs de parabole, les plans qui contiennent ces faces étant parallèles aux génératrices des surfaces coniques. On a supposé, dans la projection horizontale, qu'une partie de la panne p est arrachée pour laisser voir dans leur entier les bouts des pièces de la croix.

La fig. 16 présente, comme la précédente, la projection verticale et la projection horizontale d'un comble conique. La ligne $d d$ est l'intersection des deux plans de projection. La croix de Saint-André est établie entre deux plans perpendiculaires au plan de projection verticale, dont les traces sont $z m'$, $z n'$ parallèles aux projections $s m$, $s n$ des génératrices qui sont les lignes de milieu des chevrons voisins de la croix de Saint-André; leurs traces horizontales sont $m'' m' n' n''$. Les faces des pièces qui forment cette croix sont, comme dans la figure précédente, perpendiculaires au plan vertical.

Dans la fig. 17, nous avons construit la croix de Saint-André en établissant ses faces d'assemblage perpendiculaires au plan tangent à la

(1) La ligne $d d$ est l'intersection des deux plans de projection.

surface conique, ce qui procure l'avantage de pouvoir établir facilement ses croisillons en herse, et de les assembler par un joint plus aisé à piquer et à exécuter.

Le sommet du cône est en s . On fait tourner le comble autour de l'horizontale $z x$ qui passe par ce sommet, et qui est parallèle à l'intersection $d d$ des deux plans de projection, jusqu'à ce que le plan tangent qui a pour trace horizontale la ligne $t t$ soit parallèle au plan de l'épure. Les cercles qui sont les arêtes des faces d'assemblage des pannes $p q$ sont projetés sur ce plan tangent suivant des ellipses (1). La croix de Saint-André est tracée symétriquement par rapport à la ligne $s-l$, de façon que le point u où ses pièces se croisent ne soit pas trop près de la panne supérieure, afin que les entailles ne se trouvent pas trop rapprochées des bouts des pièces. La pièce 5-6 est mise en projection en 5'-6' sur un plan parallèle à ses faces d'assemblage et rabattu à gauche. La croix et les chevrons sont projetés horizontalement.

§ 4. Croix de Saint-André en spirale sur un toit conique.

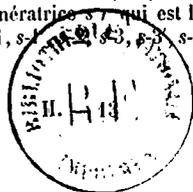
Sous la dénomination de *croix de Saint-André en tour ronde*, Fourneau a donné, planches LXVII et LXVIII, et page 70 et suivantes de la troisième partie de son *Art du Trait*, les épures d'une croix de Saint-André tracée en spirale dans un comble conique. C'est le même problème que nous avons traité, fig. 1, 2, 3, 6 et 7 de la pl. LXXXI, sur lesquelles nous n'avons tracé que les lignes indispensables à sa solution.

La fig. 1 est la projection verticale d'un toit conique représenté par des génératrices de sa surface passant par les points des divisions égales de sa base, fig. 2. Les branches de la croix doivent s'assembler par le bas dans une sablière ou une panne et par le haut dans deux chevrons.

La condition imposée pour la configuration de la croix de Saint-André est que ses arêtes tracent sur la surface du cône des lignes spirales qui coupent toutes les génératrices sous le même angle. Pour tracer ces lignes sur les projections, fig. 1 et 2, il faut préalablement les construire sur un développement de la surface conique. La fig. 7 est ce développement. Fourneau prescrit, pour tracer une arête, de fixer d'abord à vo -

(1) Les ellipses sont obtenues en mettant les extrémités des diamètres $r r', o o', v v', e e'$, des cercles en projections en r, r', v, v', o', e' sur la génératrice $s r$ qui est la trace du plan tangent dans le méridien rabattu, et en faisant $s-i, s-o, s-o', s-v, s-v', s-e, s-e'$ égales à $s r, s r', s o', s v, s v', s e', s e'$.

Les grands axes sont égaux au diamètre des cercles projetés.



lonté l'angle $s a b$ que doit faire une corde de la courbe avec la génératrice $s a$, puis de faire successivement les angles $s b c$, $s c d$, $s d e$, $s e f$, etc., égaux à ce premier angle, en traçant successivement des points où ces cordes coupent les génératrices, comme centres, les arcs égaux 1-2, 1' 2', 1" 2", etc., les points $a b c d e$, etc., sont les points de la courbure de l'une des arêtes de la croix. On peut également, et l'opération est plus commode et plus exacte, obtenir les points de la courbe en traçant les diagonales 1- b' , 2- b'' , 3- b''' parallèles à $a' b'$, à mesure que les points 1, 2, 3, 4, etc., sont rapportés par des arcs de cercle décrits du sommet s du développement. Ces mêmes arcs de cercle prolongés donnent sur les génératrices les points de la courbe $a' b' c' d' e'$, etc.

La courbe qui résulte de cette construction est celle que les géomètres ont nommée *spirale logarithmique*. Sa propriété est que, sur des génératrices $s m$, $s m'$, $s m''$, $s m'''$, répondant à des parties égales prises sur la circonférence du développement, on a $s a : s b :: s b : s c :: s c : s d :: s d : s e :: s e : s f$, etc., c'est-à-dire que les abscisses $a m$, $a m'$, $a m''$ étant en progression arithmétique, les ordonnées prises sur les génératrices sont en progression géométrique.

Ces deux méthodes, à moins d'un long tâtonnement, ont un grand inconvénient : la courbe partant d'un point a , on n'est pas maître du point où elle doit arriver sur la génératrice $s a'$; et cependant, pour donner à la croix de Saint-André la situation qu'on peut vouloir qu'elle ait, il faut qu'on soit maître de choisir les places où elle aura ses assemblages. Voici une méthode qui me paraît préférable, et qui consiste dans l'intersection d'un certain nombre de moyens proportionnels géométriques entre deux termes donnés. Ainsi, je suppose que la courbe qu'il s'agit de tracer, partant d'un point donné a , doit arriver, sur la génératrice $s a$, au point donné o ; pour trouver les points où elle coupe les génératrices intermédiaires, il suffit d'insérer des moyennes proportionnelles. On détermine d'abord la moyenne proportionnelle $s e$ entre $s a$ et $s o$, ensuite la moyenne $s c$ entre $s a$ et $s e$, et une autre $s g$ entre $s e$ et $s o$, et ainsi de suite, en déterminant une moyenne proportionnelle entre deux de celles qu'on a déterminées (1).

Pour éviter la confusion sur la fig. 7, nous avons transporté, fig. 6, le même développement et les deux spirales $a b c d e f g h o$, qui sont égales

(1) On insère une moyenne proportionnelle entre deux lignes données par le moyen du cercle. Ainsi, soit le demi-cercle, fig. 8, pl. LXXXI, dont le diamètre $e o$ est composé de $s e$ et de $s o$ prises sur la figure 7; l'ordonnée $s g$, fig. 8, est moyenne proportionnelle entre les deux parties du diamètre, et la ligne $s g$ de la figure 7 lui est égale.

et symétriques, et nous les avons accompagnées des courbes semblables $a' b' c' d' e' f' g' h' o'$ marquant la largeur des faces de la croix de Saint-André ou leurs bandeaux dans le développement de la surface conique.

Ce développement terminé, on construit la croix sur la projection verticale, fig. 1, et sur la projection horizontale, fig. 2. On opère pour tous les points, comme je vais l'indiquer, pour le point b . La longueur de la génératrice $s b$, prise sur le développement, fig. 6, est portée, en $s-1$, sur la génératrice qui est projetée en profil sur $s p$ ou $s q$, fig. 1; par le point 1, une horizontale 1- $k-1$ donne, sur les génératrices $s m$, $s m$, deux points b, b , qui appartiennent aux courbes.

Ces points sont mis en projection horizontale par des verticales $b b'$, $b b'$, ou par les projections du cercle $1' k' 1'$ résultant de la section faite par le plan horizontal 1-1 dans la surface conique.

On met de même en projection les points $b' b'$ et tous les autres points de ces courbes qui marquent la largeur des bandeaux de la croix.

A l'égard des projections des arêtes de la croix de Saint-André dans les surfaces coniques intérieures, on fait usage de la méthode des sections dans la croix, par un système de plans verticaux passant par l'axe du cône pour que les génératrices des faces d'assemblage soient normales à la surface conique du toit, et l'on opère pour toutes sections comme je vais l'indiquer pour une.

Afin d'éviter encore la confusion, j'ai supposé la projection verticale $p s q$ remontée en $p' s' q'$ et un chevron formant l'épaisseur du toit est projeté sur la droite, le long de la génératrice $s' q'$. L'épaisseur de ce chevron figure le profil du toit,

Je suppose qu'on opère encore pour les points b et b' . Ces points sont rapportés sur le chevron du profil en b et b' . Pour que les faces d'assemblage soient, comme nous l'avons dit, perpendiculaires aux surfaces coniques du comble, par les points b et b' on trace perpendiculairement aux génératrices les lignes $b, b'', b' b'$. Le rectangle $b b'' b' b'$ est alors la section faite par le méridien répondant à la génératrice $s m$ ou $s m'$ dans les branches inférieures de la croix de Saint-André. Le rectangle $b'' b' b' b'$ est la section faite par ce même méridien dans les branches supérieures de la croix. Ces points b, b'', b', b' , du premier rectangle, et ceux b, b'', b', b' , du second sont alors rapportés en projection verticale et en projection horizontale sur les génératrices des surfaces du toit conique auxquelles ils appartiennent.

Après avoir opéré de la même manière pour les autres points, on trace sur la projection verticale et sur la projection horizontale les projections des arêtes de la croix.

Le chevron, qui est le profil du toit, contient les rectangles qui appar-

tiennent aux méridiens situés sur les différentes génératrices tracées sur le développement et dans les projections.

Nous avons projeté verticalement les parties d'empanon dont la génératrice $s n$ est la ligne de milieu.

Nous avons représenté, dans la même planche LXXXI, différentes croix de Saint-André formées par l'assemblage de pièces courbes.

Les fig. 9 et 10 sont des projections horizontales qui peuvent convenir à des dômes ou à des toits coniques. Dans la première, les surfaces d'assemblage des pièces qui composent la croix sont cylindriques, et leurs génératrices horizontales sont perpendiculaires au plan de projection verticale. Dans la seconde, les mêmes surfaces ont leurs génératrices verticales.

La fig. 11 est la projection verticale d'un toit conique. Les surfaces d'assemblage des croix de Saint-André sont des surfaces gauches dont les génératrices sont des horizontales passant par l'axe vertical du toit. Nous ne conseillons point l'usage de ces sortes de combinaisons, nous ne les avons comprises dans notre planche LXXXI que parce que des charpentiers se sont exercés dans leur art par l'exécution de ces assemblages bizarres ; quelques-uns même ont été jusqu'à figurer des lettres par des combinaisons de ce genre qui ont à peine le mérite d'une difficulté vaincue avec plus ou moins d'adresse, et qui ne sont point à imiter, si ce n'est comme exercice ou amusement et en petits modèles, vu que l'art véritable consiste à n'employer dans les constructions de charpentes que des pièces de formes simples et strictement nécessaires pour assurer la solidité des ouvrages.

CHAPITRE XXII.

GUITARES ET TROMPES.

GUITARES (1).

Les guitares sont des assemblages de charpentes composés de pièces courbes. Elles sont ordinairement employées pour soutenir les toits en saillie des lucarnes et même des fenêtres qu'on veut abriter de la pluie poussée par le vent. Ce que nous avons à dire sur ces sortes de constructions n'est que le complément du chapitre relatif aux lucarnes, et nous ne les plaçons ici que pour les rapprocher des trompes, autres constructions du même genre, dont les *Traité de Charpenterie* n'ont pas fait mention.

§ 1^{er}. *Guitares droites.*

La figure 2, pl. LXXXII, comprend les projections verticales de deux guitares; la figure 3 est leurs projections horizontales; les parties à gauche de ces deux projections représentent une guitare carrée. Les parties à droite représentent une guitare ronde.

La figure 1 est une deuxième projection verticale sur un plan perpendiculaire aux deux autres projections.

Le quart de cercle $a b$ qui dessine le profil de la guitare est tangent au poteau au point b de la naissance et au point a du plafond, en arrière de l'épaisseur de la frise dont la partie au dehors du point a est nécessairement plane et horizontale.

Ce qui, en général, distingue les guitares des simples combles des lucarnes, c'est que les guitares portent des liens en diagonales $b' a'$, $d' a'$, fig. 3, appelés liens guitares qui dessinent les arêtes formées par la rencontre des surfaces suivant lesquelles sont gabariés le cintre $b a d$, fig. 2,

(1) On peut présumer que les noms de *guitare* et de *guitarde* ont été donnés à ces sortes d'ouvrages à cause de la ressemblance qu'on a cru apercevoir entre les formes contournées de quelques-uns d'entre eux et l'instrument de musique nommé *guitare*.

de la baie, et les liens ou aisseliers, *b a*, *b' a*, fig. 4 et 4', qui soutiennent la saillie du toit.

La figure 5 est la projection du lien *b' a* sur un plan parallèle à ses faces d'assemblage et rabattu sur le plan horizontal. On a indiqué ses abouts, l'occupation et la mortaise qui doivent recevoir l'assemblage d'un des empanons.

Dans toutes les figures, les lignes *b c* ou *b' c'* sont les traces du plan horizontal contenant la naissance des courbes.

La fig. 7 est la projection verticale de l'aisselier qui soutient la frise de la guitare ronde, suivant le profil de l'encorbellement, et qui s'y assemble. Cette projection est faite sur une des faces verticales de la pièce de bois projetée horizontalement en 1-2-3-4, dans laquelle l'aisselier doit être pris. Cette pièce est projetée en lignes ponctuées sur ce même plan en 1-1'-2'-2'.

Les aisseliers, aussi bien que les *liens guitares*, sont assemblés aux poteaux de la baie; ils portent sur un embrèvement au-dessus duquel les poteaux sont déjoutés ou élégés sur toute leur hauteur.

Pour ne point compliquer sans nécessité les *croquis-épure*s qui sont tracés sur cette pl. LXXXII, nous n'avons marqué que les abouts et occupations des pièces, et nous les avons distingués par des hachures pleines ou ponctuées, suivant qu'ils sont apparents ou cachés, sans indiquer les tenons ni les mortaises.

La fig. 6, qui correspond, comme la fig. 3, à la projection verticale, fig. 2, est la projection horizontale de deux guitares, l'une quadrangulaire, l'autre arrondie, toutes les deux biaises dans leurs plans.

Nous n'entrons point pour la plupart des figures qui composent la pl. LXXXII, dans le détail des constructions graphiques des projections des différentes courbes. Si l'on a étudié et compris tout ce qui a été exposé dans les chapitres XIV, XVI et XVII, on ne trouvera aucune difficulté dans les opérations qui ont toutes leurs semblables dans les épures dont nous nous sommes précédemment occupé. C'est ainsi, par exemple, que les projections des *liens guitares* sont obtenus exactement de la même manière que les pièces courbes des fermes arêtières dans les combles à surfaces cylindriques intérieures.

§ 2. *Liens guitares à surfaces gauches.*

Les fig. 8 et 9, pl. LXXXII, sont les projections verticale et horizontale d'une guitare ronde, comme celle figurée dans l'épure précédente sur sa moitié à droite, mais dans celle-ci, fig. 8 et 9, qui est imitée d'une épure de Fourneau, pl. XVIII, les faces d'assemblage des liens guitares qui re-

çoivent les empanons sont des surfaces gauches engendrées par des lignes droites s'appuyant sur les arêtes qui marquent l'épaisseur des liens guitares, et sur l'axe des surfaces cylindriques dans lesquelles sont ces arêtes.

La construction des courbes d'extrados des liens guitares 1-*n'*-2, 1'-*o'*-2' est facile. Chaque point comme *n'* est obtenu par la rencontre de la verticale *n n'* tracée par le point *n*, fig. 8, avec la ligne *q n'*, fig. 9, tracée par le point *m'*, projection du point *m* de la figure 8 et parallèlement à *b' d'*. De même *a' b' a'* étant le profil de la guitare couché à droite, le point *o'* est obtenu par la rencontre de la verticale *o o'* avec la ligne *p o'*, passant par le point *a'*, projection du point *u*. La fig. 10 est une projection du lien guitare sur le plan vertical qui contient sa courbe arètière et ayant pour trace horizontale la ligne *a' d'*.

Fourneau a adopté cette construction pour les faces d'assemblage 1-*n'*-2, 1'-*o'*-2', dans la vue de donner aux empanons un assemblage plus stable, en ce que leurs lignes d'about sont perpendiculaires aux surfaces intérieures de la guitare. Mais comme les surfaces gauches ne sont pas aussi faciles à exécuter que les surfaces planes et que d'ailleurs les efforts auxquels les empanons doivent résister sont à peu près nuls, il n'y a aucun inconvénient à se contenter du mode d'assemblage ordinaire.

§ 3. *Liens par sections horizontales.*

Dans les fig. 41 et 42, pl. LXXXII, nous donnons une construction des liens guitares pratiquée jadis par quelques charpentiers.

La fig. 41 est la projection horizontale, et la fig. 42 la projection verticale du cintre de la baie. Le cintre du profil de l'encorbellement est égal à la moitié du cintre de la baie. Des plans horizontaux dont les traces verticales sont les horizontales *a-1*, 1'-2, 2-3, 3'-4, coupent les deux surfaces cylindriques d'intrados et d'extrados du berceau de la baie et les deux surfaces cylindriques de l'encorbellement suivant des droites qui forment à chaque niveau un carré, ces carrés sont en projection horizontale *a-1*, 1-2, 2-3, 3-4. Deux de leurs angles, sur une de leurs diagonales, sont des points de la ligne *b a* ou *d a*, projection de la courbe arètière du lien guitare. Leurs deux autres angles sont des points des arêtes projetées par la courbe *m' o' a'*, *m'' o'' a''* de la pièce délardée qui forme ce lien.

La fig. 43 est une projection verticale du lien guitare ainsi conçu sur un plan vertical parallèle à celui qui contient son arête et dont la trace est *b a*.

Fourneau remarque avec raison que cette construction exige, pour l'exécution du lien guitare, une pièce de bois très-forte, puisqu'elle doit

être assez épaisse pour contenir, sur ses faces verticales, la projection de la fig. 13 dans une épaisseur marquée par ses lignes $v x, v' x'$; et sur ses faces rampantes, la projection du lien guitare dans une épaisseur marquée par l'écartement des lignes $y z, y' z'$, parallèles à la projection de l'arête guitare $b a$, d'où s'ensuit que la première construction, fig. 2 et 3, qui est la plus simple, est aussi la meilleure.

§ 4. Guitare conoïdale.

La fig. 12, pl. LXXX, est une guitare en tour ronde, dont la surface intérieure est en conoïde.

$b a d$, dans la projection verticale, est le demi-cercle formant le cintre de la baie en berceau.

Dans la projection horizontale, $b' a', d' a'$ sont les traces de deux plans verticaux qui coupent le berceau cylindrique suivant deux ellipses; mais comme ces plans font des angles de 45° avec les deux plans de projections verticales, ces courbes sont projetées sous un arc de cercle en $b'' a''$ dans la deuxième projection verticale. Ces deux courbes sont les directrices d'une surface gauche engendrée par une horizontale qui s'appuie sur elles, et sur la verticale $e a$ projetée horizontalement en e' .

Les faces verticales des liens guitares sont parallèles aux plans des arêtes $b' a', d' a'$; leurs projections verticales sont confondues dans celles de la baie. On obtient le développement du parement de la tour ronde, et la projection de son arête en faisant la ligne $b a d$, fig. 13, égale au développement du cercle $h i k$, fig. 12, les abscisses $h p$, fig. 13, égales aux arcs de cercle $h p$, fig. 12, et les ordonnées $p m$, fig. 12 et 13, égales aux ordonnées $q n$, fig. 12.

§ 5. Guitare plane.

La fig. 14, pl. LXXX, est une guitare en tour ronde formée par une section plane $b a b$ dans cette même tour. L'inspection des deux projections suffit pour faire comprendre cette construction, qui n'est pas la plus élégante, mais qui est la plus simple.

§ 6. Guitare biaise et doublement rampante.

Les fig. 14, 15, 16, pl. LXXXII, sont les projections d'une guitare quadrangulaire rampante, dans son élévation et dans son profil ou à deux pentes (expression employée par Fourneau) et biaise dans son plan.

§ 7. Guitare ronde biaise doublement rampante.

Les fig. 17, 18, 19 sont les projections d'une autre guitare également rampante dans son élévation et son profil, et biaise dans son plan, mais dont ce plan est arrondi et en ellipse à cause du biais.

Nous n'avons point marqué, dans ces trois figures, les liens guitares; nous nous sommes contenté de tracer leurs arêtes en $b' o' a' d' u' a'$ sur la projection horizontale, et en $bo a, du a$ sur la projection verticale.

Dans la fig. 14, la projection verticale de la guitare fig. 15 est complète; dans la fig. 17, nous n'avons donné que le profil de la fig. 18, suivant la ligne $c' a'$ du plan. Dans toutes ces figures, les projections qui appartiennent à un point sont marquées des mêmes chiffres ou des mêmes lettres.

§ 8. Guitare sur tour ronde.

Nous avons, dans la fig. 1, pl. LXXX, couronné une fenêtre cintrée percée dans une tour ronde par une guitare aussi en tour ronde qui abrite un balcon. La surface d'encorbellement du dessous de la guitare est une portion de surface annulaire engendrée par le profil tracé à droite, tournant autour de l'axe de la tour. Les courbes qui dessinent le dessous de la frise dans la projection verticale sont obtenues par un système de plans qui coupent la surface cylindrique verticale de la frise suivant des lignes droites, et la surface annulaire de l'encorbellement suivant son profil générateur; ainsi le point m' de la projection horizontale est dans la verticale $m m'$ de la projection verticale. Cette verticale, rapportée sur le profil en $m'' m'$, distante de la verticale, axe de la tour, de la quantité $c m'$, coupe en m'' le profil générateur de la surface annulaire. L'horizontale $m'' m$ donne, sur la verticale $m m'$, le point m de la courbe.

Nous n'avons pas projeté verticalement les liens guitares qui auraient compliqué sans utilité la projection verticale. Leurs arêtes sont confondues dans le cintre de la baie $b a d$; elles ont pour projection horizontale les courbes $b' o' a', d' u' a'$, qui sont les intersections de la surface de la baie avec la surface annulaire.

Nous avons couvert cette guitare par une moitié de toit à cinq épis du genre de celui figuré, pl. LXXVI sous le n° 1 (p. 60), appliqué à la tour ronde, de telle sorte que le faitage, posé contre le parement cylindrique de la tour, et unissant les poinçons, 1, 2, 1, est horizontal et cintré suivant la

courbure de ce parement. Les pans 1-2-4 sont des surfaces gauches qui ont chacune pour directrices la courbe horizontale du faitage 1-2, et la courbe arêtière 1-4 égale et symétrique de la courbe arêtière 4-5 de la croupe de face, et dont la génératrice est une droite qui se meut en demeurant parallèle à la ligne de noue 2-4.

II.

TROMPES.

Les trompes en charpente sont des imitations de celles en pierre; elles ont pour objet, comme celle-ci, de soutenir les saillies que des appendices de bâtiments font sur leurs façades principales et sur les lignes de leurs plans.

Leur nom leur vient de la ressemblance de quelques-unes avec la forme du pavillon d'une trompe de chasse ou d'une coquille.

§ 1. *Trompe sous une tour ronde.*

La trompe la plus simple est celle dite cylindrique, et que quelques constructeurs désignent sous le nom de *voussure sous une tour ronde* (1).

La projection horizontale de la tour ronde est un arc de cercle; sa saillie ne doit pas être plus grande que les deux tiers de ce rayon; ainsi $c' a'$, fig. 22, pl. LXXXII, est les deux tiers de $c' o'$. La projection verticale de l'arête de la voussure ou trompe sur le parement de la tour, est un demi-cercle $b a d$ dont le centre c est sur la naissance $b d$ de la voussure. Cette arête de la voussure est une ligne à double courbure qui est l'intersection de la surface du parement de la tour avec la surface cylindrique dont l'axe horizontal est projeté sur le plan vertical en c , et qui a pour base le demi-cercle $b a d$.

La surface de la voussure est cylindrique; elle est engendrée par une droite horizontale parallèle à la naissance projetée en $b d$ et $b' d'$, et qui est dans le plan du parement extérieur du pan de bois sur lequel la tour est en saillie. Son profil ou coupe par un plan vertical qui a pour trace la ligne $a a'$ sur les deux plans de projection, est couché à droite, fig. 21, en tournant autour d'une ligne verticale.

(1) Rondelet, *Art de bâtir*, tome II, p. 200.

Lorsque les bois de charpente doivent rester apparents, les pièces de *remplage* sont établies suivant des rayons dans les directions qu'on donne aux plans de joints lorsque cette voussure est en pierre. Les courbes qui sont les projections horizontales des arêtes de ces rayons sont obtenues en renvoyant les points de la projection verticale sur les projections horizontales des génératrices de la voussure dans lesquelles ils se trouvent. Ainsi le point m est en projection horizontale en m' sur la ligne $n' n'$, projection de la génératrice nn sur laquelle il se trouve.

L'arête de la trompe en voussure est formée par la sablière BD de la tour, et par deux aisseliers EF qui s'assemblent dans cette sablière contre deux abouts laissés en dessous et en soutiennent la saillie. Ils s'appuient sur deux repos en embrèvements horizontaux ménagés dans les poteaux BF, DF au moyen d'élégissements sur deux de leurs faces. Nous avons marqué, dans les projections, toutes les occupations des pièces.

La figure 24 représente les courbes ou gabarits $te, t'e', t'e''$, qui appartiennent aux rayons e, e', e'', a , qui sont assemblés d'un bout dans le cintre ad , de l'autre dans la pièce t nommée *trompillon*. Les courbes $cg, c'g', c'g''$, sont les gabarits de leurs faces internes.

Sur la gauche des figures 20 et 22, nous avons tracé les pièces de *remplage*, contenues dans des faces verticales, ainsi qu'elles sont établies lorsque la surface de la voussure est revêtue d'un lattis avec enduit en plâtre, comme on en fait sur les pans de bois. Nous avons indiqué leurs occupations sur la pièce du cintre, fig. 21.

§ 2. Trompe sur l'angle.

Les figures 23, 25 et 26, pl. LXXXII, se rapportent à une trompe sur l'angle d'un bâtiment; bad est le plan de l'angle d'un bâtiment formé par les pans de bois de ses étages. $n' n'$ est un pan coupé au rez-de-chaussée seulement. La trompe a pour objet de raccorder ce pan coupé avec l'arête verticale formée par la rencontre des parements des deux pans de bois, et projetée en a . Les autres lignes de la même figure forment la projection verticale de la trompe, sur le plan vertical qui produit le pan coupé.

La figure 26 est une projection verticale sur le parement d'un des pans de bois formant façade du bâtiment, sur celui qui a pour trace horizontale la ligne ad .

L'autre façade est projetée sur cette figure, suivant la ligne $a' n'$.

L'arête de la trompe sur chaque façade est un arc de cercle $a' n'$,

décrit d'un centre g , fig. 2, choisi sur le plan horizontal de la naissance, avec la condition de faire passer l'arc de cercle par le point a' . Dans la projection verticale, fig. 25, les deux arcs de cercle ont pour projection les deux arcs d'ellipse $n'' a', n''' a'$.

La surface de la trompe est cylindrique; elle est formée par une droite horizontale parallèle à $n' n$ qui s'appuie sur les deux arcs de cercle des façades.

Les sablières $a' b$, $a' d$ de l'étage immédiatement au-dessus de la trompe, soutiennent le poteau cornier t de l'angle du bâtiment, et elles sont elles-mêmes soutenues par les liens cintrés $p q$ qui s'y assemblent par leurs extrémités supérieures pendant qu'ils s'appuient sur les repos ménagés dans les poteaux verticaux v, s .

Un chevron cintré u s'assemble de même dans un coyer et dans le poteau o répondant au milieu du pan coupé. Des empanons r, r , qui s'appuient aux cintres de la trompe et qui s'assemblent dans la sablière du pan coupé forment le remplage de cette trompe.

§ 3. Trompe conique.

Pour donner une idée des trompes coniques et de l'un de leurs emplois, nous avons composé un petit pavillon en charpente, fig. 11 et 15, pl. LXXX, supporté en saillie sur l'angle d'un bâtiment en pans de bois.

a , poteau cornier du bâtiment montant de fond jusqu'au niveau des sablières b de l'étage au niveau duquel ce pavillon est établi.

c , consoles assemblées dans le poteau cornier et dans les prolongements des traverses des pans de bois du bâtiment. Deux de ces consoles sont comprises dans les pans de bois sur lesquels elles forment une saillie de la moitié de leur épaisseur; elles supportent les quatre sablières $t o$ des naissances des trois trompes coniques. Chaque surface conique a son sommet en t dans un des angles $o t o$. Les bases de ces surfaces coniques sont des quarts de cercle sur chaque face du petit pavillon; ces bases n'ont de développement que les arcs $t v$, et comme les façades du petit pavillon font des angles égaux avec les diagonales $t z$ de son plan, ces bases circulaires, quoique dans des plans différents, appartiennent deux à deux à la même surface conique.

Un petit cintre, formant trompillon, s'appuie sur des sablières, et reçoit les assemblages des chevrons de chaque trompe conique. Les chevrons et les trompillons sont ponctués dans la projection horizontale; ils ne sont point apparents dans la projection verticale, ni les empanons qui reçoivent les revêtements en planches formant les surfaces intérieures des trompes.

On voit que les trompes soutiennent les sablières du petit pavillon à la hauteur de son plancher et ses poteaux corniers, ainsi que les pans de bois de ses façades principales et des deux demi-façades en retour sur les façades du bâtiment principal. Nous avons supposé toute cette construction décorée de sculptures sur bois, comme elles étaient d'usage au moyen âge.

Le balcon de la figure 1 de la même planche est soutenu par une trompe en cul-de-lampe; la surface de ce cul-de-lampe est engendrée par le quart de ce cercle *o c* tournant autour de l'axe vertical projeté sur le point *z*, fig. 3.

Nous n'étendrons pas plus longuement la description des trompes et vous-sures en bois. Nous nous bornerons à faire remarquer qu'il n'y a aucune construction en pierre qui ne puisse être imitée, dans ses formes apparentes, par des constructions en charpente, qu'on peut revêtir en bois ou en lattis avec des enduits de maçonnerie.

CHAPITRE XXIII.

DIVERS SYSTÈMES DE CONSTRUCTION DE COMBLES EN CHARPENTE.

Nous avons déjà parlé des combles dans notre premier volume; il s'agissait alors d'exposer les formes générales auxquelles toutes les charpentes des toits sont assujetties, et de faire connaître les moyens que l'art du charpentier emploie pour les exécuter. Nous avons, dans ce but, décrit quelques-unes des constructions qui sont en usage; mais il s'en faut bien que nous ayons figuré toutes les combinaisons imaginées par les constructeurs pour composer des fermes et établir des combles en satisfaisant aux formes commandées par le goût de l'époque où ils travaillaient, et par l'étendue ou la destination des bâtiments qu'il s'agissait de couvrir.

Nous avons cherché à compléter l'objet du chap. XIII de notre tome I^{er}, en réunissant, dans les planches qui se rapportent à celui-ci, les descriptions des principales charpentes connues, et dont les fermes sont, pour ainsi dire, les types qu'on retrouve plus ou moins fidèlement imitées, et avec plus ou moins de succès, dans le nombre immense de combinaisons diverses que les charpentiers et les constructeurs ont employées ou proposées.

Les figures que nous donnons dans nos planches sont assez exactes et construites sur des échelles assez grandes pour que nous nous dispensions de longues descriptions écrites. Nous nous bornerons donc, à l'égard de chaque système, aux explications qui sont indispensables.

I.

COMBLES ROMAINS.

§ 1. *Basilique de Saint-Pierre.*

La fig. 1 de la pl. LXXXIV représente une ferme du comble de l'ancienne basilique de Saint-Pierre de Rome; elle est remarquable par sa simplicité. Ce dessin a été conservé par Fontana, pl. IV (1).

(1) In-folio, in Roma, 1743.

Rutilius Alberinus, Romain, rapporte, dans un manuscrit de 1339, traduit du vieux langage en vulgaire par Annibal Scardova, Bolognais, que lors de son avènement, vers 1334, le pape Benoît XII fit renouveler entièrement la charpente du toit de Saint-Pierre. Les bois se trouvèrent si bien conservés qu'ils purent être employés à la construction du toit du palais de Farnèse. En démontant cette ancienne charpente, on trouva une poutre immense et d'une grosseur surprenante; elle était tout enveloppée de cordages à cause de son extrême vétusté. On découvrit sur cette poutre une inscription en lettres gravées dont le sens était : *Cette poutre est une de celles du toit que fit poser le bon Constantin* (1). Ainsi l'on put regarder cette ferme comme un des types des toits antiques. Les pentes du toit qu'elle supportait s'accordaient avec celles en usage pour les frontons antiques.

Chaque ferme était composée de deux tirants jumeaux, de deux arbalétriers également jumeaux, de deux entrants jumeaux compris entre les arbalétriers sans y être assemblés, n'y étant retenus que par une grosse cheville traversant les deux arbalétriers, et enfin d'une aiguille ou poinçon retenu aux arbalétriers par une grosse cheville, et à l'entrant également par une grosse cheville, et soutenue sur le tirant par une autre grosse cheville en forme de clef.

Cette charpente n'avait aucune ferrure, et celles qui sont représentées sur la fig. 1 sont copiées d'après Rondelet. Elles n'ont probablement été ajoutées que lors du renouvellement dont nous venons de parler. Chaque tirant était d'une seule pièce, et probablement encore, ce n'est que lors de ce renouvellement qu'on les a entés à traits de Jupiter et garnis de ferrures.

§ 2. *Saint-Paul-hors-des-Murs* (2).

Les fig. 1, 3 et 5 de la pl. LXXXIII, représentent les fermes du comble de la basilique de Saint-Paul-hors-des-Murs à Rome. Les deux premières sont remarquables en ce qu'elles sont doubles, et que l'aiguille qui soutient le tirant se trouve elle-même soutenue par deux systèmes égaux accouplés au moyen de clefs carrées en bois.

La deuxième a plus de force que la première, parce que les bois sont plus forts, et que les poinçons ajoutés à chaque ferme partielle et qui reçoivent les assemblages des sous-arbalétriers, attachent plus solidement l'aiguille intermédiaire qui soutient le tirant.

(1) Cet empereur mourut en 337.

(2) Cette basilique a été brûlée en 1823.

La ferme de la fig. 1 est une des plus anciennes de ce comble en bois de sapin; c'est une de celles qui furent renouvelées en 816 sous le pontificat de Léon III.

La ferme de la fig. 5 répond au sanctuaire; elle est du nombre de celles qui furent renouvelées sous Sixte-Quint (de 1585 à 1590).

Les bois de toutes ces fermes sont équarris à vive arête. Les assemblages sont à entailles en embrèvements sans tenons ni mortaises.

Cette troisième ferme n'est pas double; néanmoins elle est plus compliquée que les autres, quoiqu'elle n'ait pas besoin d'une force aussi grande, puisqu'elle est soutenue, dans le milieu de sa portée par un mur, ce qui annoncerait un pas rétrograde de l'art.

Les fig. 2, 4, 6 sont des coupes longitudinales du bâtiment par un plan vertical parallèle au faîtage, sur lesquelles on voit l'écartement des fermes et des chevrons.

Les chevrons sont couverts par des briques d'un pied sept pouces (0^m,514), ce qui forme un carrelage avec mortier dans les joints, sur lequel la couverture en tuile est posée comme celle représentée fig. 18, pl. XL. On peut juger, par le poids de cette couverture, de la force de la charpente qui la soutient.

Les fermes du comble de l'ancienne salle de spectacle de la ville de Lyon, par Germain Soufflot, sont copiées sur celles-ci, hormis qu'elles n'ont que 43 pieds de portée (14 mètres), et qu'elles ne sont pas soutenues dans le milieu par un mur. On y a fait des changements inutiles et peu heureux en écartant les faux arbalétriers des arbalétriers, et en prolongeant l'une des contre-fiches des petits poinçons jusqu'au poinçon principal.

§ 3. *Sainte-Sabine.*

Une ferme de l'église Sainte-Sabine, à Rome, est représentée fig. 5, pl. LXXXIV. La construction de cette église remonte à l'an 425. Cette ferme est très-remarquable; c'est le premier exemple d'armatures d'arbalétriers soutenus par des contre-fiches assemblées au poinçon.

Cette combinaison, par l'époque de sa construction, sa simplicité et sa ressemblance avec la description des charpentes des toits donnés par Vitruve, peut être regardée comme une imitation des charpentes antiques qui nous en reproduit un type incontestable.

§ 4. *Théâtre d'Argentine.*

Une ferme du théâtre d'Argentine, à Rome, est représentée fig. 2, pl. LXXXIV. La simplicité et la bonne entente de cette combinaison sont aussi remarquables que celles des fermes de Saint-Pierre et de Saint-Paul. Sa portée est de 75 pieds et demi (24^m,50). Les tirants et arbalétriers de cette charpente sont chacun de deux pièces entées à trait de Jupiter.

Les tirants sont soutenus par de doubles étriers en fer qui n'ont aucun inconvénient, vu qu'il n'ont à supporter que ces tirants et un simple plafond.

II.

COMBLES MODERNES.

§ 1. *Charpentes en bois droits.*

Les climats divers où des combles ont été établis sur les habitations ont nécessité d'autres pentes que celles usitées dans l'antiquité. De là sont venus les toits élevés qui ont forcé à des combinaisons plus compliquées. En général, avec les hauteurs des combles il a fallu augmenter le nombre des armatures ou doublures *a*, fig. 6, pl. LXXXIV, des arbalétriers, devenus plus longs. Il s'en est suivi la nécessité d'augmenter aussi le nombre des entrails *b*; et dès qu'on a voulu utiliser ceux-ci pour former des étages dans les combles, il a fallu aussi les fortifier par d'autres armatures *c* et des liens *d*, ou par des pièces verticales *e* pour soutenir les planchers en les attachant aux arbalétriers, de telle sorte que les combinaisons représentées à droite et à gauche dans la fig. 6, se sont trouvées être les types de toutes les charpentes des pays sujets aux pluies et aux neiges dans lesquels on a varié la position de ces pièces et auxquelles on en a ajouté d'autres dont l'utilité n'est pas toujours bien apparente.

§ 2. *Système de Styerme.*

Le charpentier Styerme a composé des fermes pour la construction des toits en usage dans le pays de Wurtemberg, où il était établi. Nous reproduisons, d'après Krafft, trois exemples, fig. 3 et 7, pl. LXXXIV, et fig. 6,

pl. LXXXV, de l'application du tracé indiqué par Styerme pour trois portées différentes.

Le système de Styerme consiste principalement dans l'emploi de pièces verticales, qu'il appelle clefs pendantes, lesquelles lient les tirants aux entrails, et ceux-ci les uns aux autres. Cette combinaison paraît avoir été suggérée à Styerme par les fermes du théâtre d'Argentine. On a néanmoins étendu la qualification de système au tracé des lignes au moyen desquelles il détermine les positions des pièces qui entrent dans la composition de ses fermes; mais ce tracé n'est qu'une formule pour reproduire les mêmes combinaisons dans les proportions qui peuvent convenir à différentes portées.

Ce tracé s'exécute en partageant les rectangles $d e c h$ formés par la demi-portée du comble et sa hauteur, ou un certain nombre de carrés dont les lignes et les angles déterminent les points principaux sur lesquels Styerme établit les assemblages et les pièces horizontales et verticales qui, en outre des arbalétriers, concourent à la composition des fermes; des cercles $v k u$, $x h y$ indiquent même quelles dimensions horizontales sont reportées verticalement. Toutes les lignes présentent une apparence de science qui n'est pas indispensable, puisque, la disposition des bois étant bien entendue, il suffit d'annoncer que la hauteur du toit, suivant le besoin et le climat, est égale à la moitié ou au tiers de la portée des fermes, ce qui fixe la pente du toit, et que les entrails sont établis à moitié, au tiers ou au quart de la hauteur du comble.

Rondelet remarque que ce système ne présente pas une force aussi grande que le nombre des pièces qui y sont employées paraîtrait l'annoncer au premier aperçu; il faut cependant convenir que si le tirant et les entrails sont destinés à porter des planchers qui peuvent être fortement chargés, les pièces $m m$, appelées clefs pendantes, sont assez bien disposées pour les soutenir; il est seulement à regretter que leur liaison avec les entrails et les tirants ne soit établie que par des bandes de fer qui supportent alors tout l'effort de la charge et auxquelles il n'est pas toujours prudent de se fier en pareil cas. Des moises verticales dites moises pendantes, qui embrasseraient en même temps les entrails et les tirants, seraient préférables, et elles ne consommeraient guère plus de bois.

La fig. 10, pl. LXXXV, est, comme nous avons déjà eu occasion de le dire page 91, une coupe sur la ligne $x y$ de la fig. 6, même planche, par un plan parallèle au toit sur lequel les croix de Saint-André comprises dans les pans de toit, et qui sont des contrevents, sont projetées. Cette projection est ce que quelques charpentiers appellent *la ferme couchée*. C'est une véritable herse du pan du toit qui sert à établir les

croix de Saint-André, et à piquer leurs assemblages dans les pannes *a* et *b*.

Il est à présumer, comme nous l'avons déjà dit, que la charpente du théâtre d'Argentine, fig. 2, pl. LXXXIV, a fourni à Styerme l'idée première de son système qui, au surplus, ne vaut pas, à beaucoup près, son modèle.

§ 3. *Charpente du temple des Réformés à Strasbourg.*

Le comble du temple des Réformés de Strasbourg a été construit, en 1790, à peu près suivant le système de Styerme. Nous en avons représenté une ferme, fig. 2, et une coupe, fig. 4, dans la planche XCI. Le bois n'y a pas été épargné. On doit cependant remarquer que l'objet principal qu'on s'est proposé a été assez bien rempli : c'est la suspension par le moyen des moises verticales *b b* des deux filières *a a* qui portent le plancher d'un grenier.

Les tirants et les filières sont liés aux moises verticales par de forts étriers en fer. Les solives qui portent le plancher et le plafond sont attachées en dessous des filières par des boulons. Ce n'est que lorsque la condition de la suspension du plancher a été remplie que les chevrons ont été disposés pour former le toit. Au lieu de croix de Saint-André pour contrevents dans les pans du comble, comme dans la fig. 10, pl. LXXXV, on a établi des aisseliers et des jambettes s'assemblant dans les pannes et les liernes et dans les arbalétriers, ce qui a produit le même effet sans employer des bois aussi longs que ceux que les croix de Saint-André auraient exigés.

§ 4. *Comble du manège de Copenhague.*

La charpente du comble du manège de Copenhague a quelque ressemblance avec celle du temple des Réformés qui fait l'objet de l'article précédent, et avec celles de Styerme, qui ont été longtemps imitées par les charpentiers allemands, et qu'on retrouve dans un grand nombre de leurs combles.

La ferme du manège de Copenhague, fig. 7, pl. XCII, est cependant d'une apparence moins pesante. Elle fait partie d'un comble brisé. L'entrait *a* est trop fort comme entrait de brisis; mais cet entrait et le tirant *b* soutiennent des planchers servant de magasins. On pourrait, sans inconvénient, supprimer l'entrait supérieur *z*, pour le remplacer par le petit entrait *x*, et ajouter à cette ferme deux petites contre-fiches *y*, que nous avons ponctuées.

§ 5. *Charpente du comble de l'Hôtel-Dieu de Rouen.*

Nous avons figuré, sous le n° 4 de la planche LXXXIV, une ferme à trois poinçons. Le tirant est soutenu dans son milieu par un poinçon principal.

Les deux autres poinçons soutiennent aussi ce tirant au milieu des deux demi-portées. Ils sont indépendants du reste du système du toit et forment, de chaque côté, une sorte d'armature comme celle d'une poutre, fig. 9, pl. XXXII. Cette combinaison est trop chargée de bois; cependant l'architecte Le Brunont l'a utilement employée, en 1776, pour les demi-fermes du comble des bas côtés de l'Hôtel-Dieu de Rouen (1).

§ 6. *Charpente tirée de l'ouvrage de Kraft.*

La fig. 2, pl. LXXXVI, est tirée de l'ouvrage de Kraft, qui n'indique point où elle a été exécutée. Nous la donnons ici à cause de quelques ressemblances qu'on pourrait lui trouver avec les fermes de Styerme; mais elle est fort inférieure en ce que plusieurs pièces s'y trouvent sans objet ou mal disposées.

La fig. 2, pl. LXXXVII, présente une ferme qui est à peu près dans le même système; elle est cependant mieux entendue si, comme nous l'avons dit plus haut, les tirants et l'entrait doivent supporter des planchers chargés de poids considérables; car on voit que les poteaux qui soutiennent l'entrait portent verticalement sur ceux qui soutiennent le tirant et qui montent de fond.

§ 7. *Théâtre-Italien de Paris.*

La figure 1, planche LXXXVII, reproduit une des fermes du Théâtre-Italien (dit théâtre Favart), à Paris, par Hertier, brûlé en 1839. Cette ferme se distingue des constructions ordinaires par des moises parallèles aux arbalétriers. Ces moises ont pour objet de soutenir l'entrait auquel sont attachées, par des bandes de fer, deux aiguilles pendantes qui supportent dans deux points de sa longueur le tirant chargé d'un plancher. Par cette disposition, on a donné aussi de puissants auxiliaires aux arbalétriers; mais l'effet eût été plus complet si les moises avaient pu saisir le tirant et y trouver leurs abouts; dans ce cas, les jambes de force *m* eussent été inutiles, et il eût suffi de prolonger les blochets *n* jusque

(1) Kraft, pl. XV.

dans les moises; les pièces pendantes *o* eussent aussi été d'un plus puissant effet, si elles eussent été des moises.

En général, il vaut toujours mieux se fier à des moises qu'à des bandes de fer pour soutenir des pièces horizontales. A moins qu'il n'y ait impossibilité de laisser les bouts des moises se prolonger au-dessus des pièces qu'elles doivent saisir.

Les fermes du manège de Lunéville, fig. 2, pl. XC, qui sont l'objet de l'article 2 du chapitre suivant, présentent un autre exemple de faux arbalétriers, parallèles aux arbalétriers, mais ils ne forment point moises. Ils servent, au contraire, à présenter des points d'attache aux moises pendantes qui ne seraient pas assez solidement assemblées sur les arbalétriers qu'elles ne peuvent pas dépasser d'une longueur suffisante.

§ 8. *Hangar de la Râpée.*

La ferme représentée fig. 6, pl. LXXXVII, appartient à un hangar construit à la Râpée, à Paris. Les bois sont assez bien combinés dans cette charpente, mais ils y sont trop multipliés, plusieurs systèmes concourant simultanément au même résultat sans nécessité de ce surcroît de solidité. Nous pensons qu'on peut, sans inconvénient, supprimer les grandes moises *m m*, qui chargent la charpente sans ajouter à la résistance produite par les pièces *n* et *p*; on pourrait utilement ajouter les contre-fiches, *o, u*.

§ 9. *Hangar de M. Eyrère.*

La ferme, fig. 7, fait partie d'un hangar construit par M. Eyrère, charpentier : les pièces *p* auraient pu être supprimées, l'entrait *m* aurait été prolongé jusque sous la première panne, et la pièce *r* aurait été transportée en *s* sous la deuxième panne.

§ 10. *Bâtiment de filature.*

La ferme, fig. 5, pl. LXXXVIII, appartient au comble d'une filature; elle est extraite de l'ouvrage de Krafft. Dans la réalité, il existe un entrait *a*, nous l'avons indiqué en lignes ponctuées, parce que nous le regardons comme inutile.

La grande croix de Saint-André pourrait motiver aussi la suppression du tirant comme dans la ferme, fig. 1, pl. LXXXV.

Si l'on voulait conserver l'entrait, il conviendrait de supprimer la croix de Saint-André et de la remplacer par les liens *m, m*, que nous avons indiqués en lignes ponctuées.

§ 11. *Hangar du Helder.*

La figure 4, pl. LXXXVII, est la coupe d'une grange tout en charpente construite en Hollande, près du Helder. Krafft, auquel nous avons emprunté cette figure, annonce que les fermes sont écartées de 14 pieds (4^m,548) de milieu en milieu, et qu'il y a sept chevrons dans chaque travée, non compris ceux qui répondent aux fermes.

J'ai indiqué en lignes ponctuées de quelle manière on pourrait remplacer les poteaux d'assemblage par des poteaux séparés, d'où résulterait un autre espacement des moises; cette disposition donnerait plus de stabilité à cette charpente, qui est imitée d'un hangar construit à la Râpée, dont Krafft donne aussi le dessin, planche XXXII, et que nous n'avons point compris dans nos planches, à cause de sa ressemblance avec celui qui fait l'objet de cet article. Ce hangar a 72 pieds de largeur (23^m,398), et ses fermes sont écartées de 15 pieds 9 pouces (5^m,417). Ses côtés sont fermés à chaque étage par un pan de bois percé d'une croisée au milieu de chaque travée.

§ 12. *Hangar de Leipzig.*

La figure 8, pl. LXXXV, est la coupe d'un comble en bois de sapin construit à Leipzig, pour couvrir un hangar; le dessin est tiré de l'ouvrage de Krafft, qui n'a point indiqué l'écartement des fermes. Krafft critique mal à propos la combinaison du bois dans ce comble; il conseille de supprimer la grande moise inclinée pour alléger la charpente, il propose de la remplacer par un arc qui serait certainement plus pesant.

La partie à gauche de la figure montre la ferme telle qu'elle a été exécutée; à droite, la correction que Krafft propose est indiquée afin de montrer qu'en pareil cas, ce changement ne doit pas être adopté. Un grand arc a, dans une charpente, une tout autre destination que celle qui lui est donnée dans cette figure. D'autre part, un arc a un volume de bois plus considérable que celui des pièces droites; son assemblage exige plus de travail, et sa flexibilité le rend moins propre à s'opposer à des changements de formes que des combinaisons de pièces droites.

§ 13. *Magasin aux vivres du Helder.*

M. Mandar a fait construire au Helder, en Hollande, un magasin aux vivres qu'il a couvert par un comble dans lequel des arcs sont employés, comme il convient qu'ils le soient; ils supportent directement le toit qui est toujours chargé d'un même poids sur deux pans. Nous donnons, fig. 7, pl. LXXXVIII, le dessin d'une des fermes de ce comble; il est copié de l'ouvrage de Krafft. La longueur du magasin est de 300 pieds (97^m,452); sa largeur est de 60 pieds (19^m,490); l'écartement des fermes est de 15 pieds (4^m,873), de milieu en milieu; six chevrons, dans chaque travée, sont distribués entre ceux répondant aux fermes. La poussée du toit, dans chaque ferme, s'opère sur le tirant qui soutient le plancher du grenier, et qui est porté dans sa longueur par deux filières faisant l'office de poutres pour recevoir les solives distribuées entre les tirants.

Ces filières ou poutres sont supportées par des poteaux qui répondent aux tirants des fermes.

Ces poteaux sont indispensables, à cause de l'irrégularité que diverses circonstances peuvent déterminer dans la répartition de la charge sur le plancher.

§ 14. *Hangar construit en Suisse.*

Toutes les constructions exécutées en Suisse ne sont pas suivant le modèle que nous avons décrit page 289 (tome I^{er}); plusieurs constructions se rapprochent des systèmes en usage en France et en Allemagne. Le hangar dont nous donnons le dessin d'une ferme, fig. 3, pl. LXXXVIII, en est un exemple. Ce hangar est établi au-dessus d'une habitation rurale. Les jambes de force sont de deux pièces et forment moises, pour prendre entre elles les arbalétriers et s'assembler dans l'entrait supérieur qui est aussi en moise.

Les deux planchers sont soutenus par des doubles bandes de fer qui s'attachent à l'entrait supérieur.

Des moises verticales eussent produit le même effet. A la vérité, l'apparence eût été moins légère, mais la dépense eût été moindre, sans que la solidité en eût souffert.

§ 15. *Grande halle de la fonderie de Romilly.*

C'est avec plus de discernement et d'économie que le fer a été employé comme moyen de suspension dans le comble de la grande halle

de la fonderie de Romilly, construite, en 1824, par M. Ferry, ingénieur civil (1).

Nous avons représenté, fig. 6, pl. LXXXIX, une des fermes du double comble de cette vaste halle. La figure 4 est, sur une petite échelle, une projection de l'élévation extérieure du bâtiment; la figure 5 est son plan.

Cette halle est composée de deux parties séparées par le canal d'une roue hydraulique qui fait mouvoir des laminoirs. Les deux parties sont couvertes par deux grands combles; un troisième, beaucoup plus petit, répond au canal.

Les sablières, communes aux grands combles et au petit sont soutenues chacune par une file de colonnettes en fer coulé et creuses qui répondent aux assemblages à mi-bois des tirants des grandes et petites fermes qui se joignent bout à bout en croisant les sablières communes. Les bases de ces colonnettes portent sur les murs du canal.

Les pans des grands combles qui répondent aux murs latéraux jettent les eaux au dehors; les pans contigus à ceux du petit comble forment avec ceux-ci des égouts communs au-dessus des sablières communes, et des chéneaux en zinc, dont les pentes sont convenablement réglées, distribuent les eaux pluviales à des espèces d'entonnoirs par lesquels elles descendent dans l'intérieur des colonnettes, d'où elles sont rejetées dans le canal par des tuyaux courbés.

Le tirant de chaque ferme est de deux pièces qui se joignent bout à bout au milieu de sa longueur; leur liaison est formée par une troisième pièce qui a peu d'étendue et qui leur est jointe à crans; cet assemblage est consolidé par deux bandes de fer, l'une, appliquée en dessus, l'autre, appliquée en dessous; leurs extrémités sont courbées en crampons; le tout est serré par des boulons.

Le tirant auquel on n'a point voulu donner la force qu'eût exigée un plancher, est soutenu de chaque côté, au quart de sa portée, par une moise verticale en bois qui saisit l'arbalétrier et une branche de la croix de Saint-André.

Une troisième moise en bois, formant poinçon, eût été, vu sa longueur, trop pesante dans le milieu de la ferme; elle est remplacée sur les deux tiers de sa hauteur par une tringle en fer rond qui n'a besoin que de la force nécessaire pour supporter sa part du poids de la partie du tirant comprise entre les deux moises verticales.

Cette tringle est attachée par le haut à la moise-poinçon, par l'anneau plat qui la termine et qui est traversé par le boulon inférieur des brides

(1) M. Ferry a été professeur à l'École centrale des arts et manufactures jusqu'en ces dernières années.

appliquées sur les faces des parements de la moise. Cet anneau est compris entre deux rondelles pour remplir l'intervalle des deux parties de la moise, et maintenir le point de suspension dans le milieu de l'épaisseur de la ferme; par son extrémité inférieure, la tringle, qui est taraudée, traverse les bandes dans le milieu de l'épaisseur de l'assemblage, et reçoit en dessous un fort écrou qui soutient le tirant à la hauteur des sablières pour empêcher qu'il se courbe sous son propre poids.

L'assemblage de la croix de Saint-André est consolidé par un X en fer, appliqué sur chaque face; les deux X sont fixés par des boulons. Un boulon central les traverse ainsi que les moises.

La fig. 1 est une projection horizontale, et la figure 2, une coupe pour montrer le détail de l'assemblage des tirants et des sablières.

Chaque cours de sablières est composé d'autant de pièces *s*, *s* qu'il y a de travées dans la longueur des combles. Aux extrémités, les sablières sont scellées dans les murs. Elles se joignent bout à bout, comme les tirants sur les chapiteaux des colonnettes, entre des joues qui s'élèvent de chaque côté. Pour les réunir et donner à leurs jonctions autant de solidité que si le cours de ces sablières était d'une seule pièce, chaque joint est garni de deux fortes bandes de fer *b*, une de chaque côté, au niveau de l'entaille à mi-bois faite en dessus, et qui s'étend par moitié de chaque côté du joint.

Chaque bande se prolonge au-delà de l'entaille qui doit être occupée par les bouts des tirants, assez loin pour être saisie par des boulons communs; chacune est coudée deux fois, pour entrer dans l'épaisseur des deux parties des sablières et affleurer leurs faces, dans toute l'étendue de l'occupation de ces mêmes tirants. Les tirants *t*, qui se joignent bout à bout, sont entaillés en dessus à mi-bois; l'entaille s'étend également aux deux côtés de leur joint. Ils ne sont assemblés aux sablières, ni descendus dans les entailles, qu'après qu'on a placé les deux bandes droites *d* de même force que les premières, dans des rainures ouvertes dans les joues des entailles des sablières. Lorsque les tirants sont placés, on boulonne leurs bandes; ils se trouvent liés entre eux comme les sablières, et les bandes se croisent dans les angles de l'assemblage; celles des tirants touchent celles des sablières dans le plan du contact des entailles. Cet assemblage, d'une très-grande solidité, est traversé verticalement dans son milieu par le tube de zinc qui conduit les eaux du toit dans les colonnettes.

§ 16. *Magasin aux fourrages de la Râpée, à Paris.*

Les constructeurs en s'éclairant par l'expérience et le calcul ont, depuis quelques années, beaucoup diminué les équarrissages qu'on donnait autrefois aux pièces employées dans les charpentes. C'est sans doute un progrès de l'art, mais il est à craindre qu'en voulant réformer un excès dans le poids des œuvres anciennes et dans la consommation du bois, on ne tombe dans un défaut contraire, et qu'on ne fasse plus la part de la détérioration du bois par la vétusté. On perd peut-être de vue que, pour quelques anciennes charpentes, c'est autant à un excès de force dans les dimensions des bois qu'à leur bonne qualité, qu'on doit attribuer la longue durée de ces constructions.

Nous donnons dans les fig. 4 et 5 de la planche XC, une coupe longitudinale et une coupe transversale du comble qui couvre le magasin aux fourrages de la Râpée : la poussée de la charpente est habituellement atténuée, sinon détruite, par la disposition des moises inclinées, qui concourent d'ailleurs au soutien de l'entrait. Des croix de Saint-André, formées de demi-moises dans la ferme sous-faite et les arcs sous les sablières des façades et sous la filière de la ferme sous-faite, empêchent le hieiment du comble. Les sablières et les filières ou liernes paraissent un peu trop fortes par rapport aux autres pièces des fermes de cette charpente. La légèreté extraordinaire de cette construction fait naître la remarque que nous venons de faire. Cette légèreté, sans doute, peut convenir pour une charpente qui ne doit avoir qu'une courte durée; mais nous ne conseillerons pas de l'imiter dans une construction stable.

§ 17. *Manutention des vivres militaires, à Paris.*

La fig. 6 de la planche XCI est le dessin d'une ferme du comble de la Manutention des vivres militaires, projetée et construite vers 1835 sur le quai Billy, à Paris, par M. Gréban, capitaine du génie. La fig. 8 est une coupe longitudinale du même comble.

Les planchers des étages, d'une force proportionnée aux charges qu'ils doivent supporter, sont soutenus par des poteaux qui montent de fond. La charpente est combinée de manière à n'exiger que des bois d'un moyen équarrissage, et à ménager le plus grand espace possible dans les greniers.

Pour lier convenablement les pièces qui soutiennent le toit, les arbalétriers ont reçu une disposition qui n'avait encore été que peu usitée; ils ont été convertis en moises qui s'étendent conséquemment sous les deux pans du comble.

Les poutres des planchers sont en trois portées sur la largeur du bâtiment. Chaque partie de poutre est fortifiée par une armature intérieure, et ces poutres partielles sont liées bout à bout par des bandes de fer; leurs joints répondent aux poteaux.

Tous les travaux de cet édifice ont été exécutés avec une rare perfection; les bois de ses charpentes sont tous équarris à vives arêtes, et les assemblages sont exécutés avec la plus scrupuleuse précision.

III.

FERMES SANS TIRANTS.

Lorsqu'on est dans la nécessité de supprimer les tirants d'une charpente, il est indispensable de prévoir comment on remédiera à sa poussée, soit en donnant aux murs qui doivent la supporter une épaisseur capable d'une résistance suffisante, soit en introduisant, dans la composition des fermes, des pièces de bois ou de fer ayant pour objet de détruire cette poussée, ou au moins de l'atténuer ou de la modifier, en changeant la direction de son action pour la reporter sur des points plus résistants, et pour lesquels il ne soit pas besoin de donner aux murs de très-grandes épaisseurs.

§ 1. *Système de M. Ried.*

La fig. 1, pl. LXXXVI, représente un fragment d'une ferme d'un hangar construit par M. Ried.

La fig. 5 est une application du même système, avec un revêtement intérieur, construit par le même architecte.

Au moyen d'un trait *a*, et de son aisselier *b*, la poussée n'est exercée que par la partie inférieure de la ferme; et elle est atténuée par l'abaissement de son point d'application, par l'effet de la combinaison du blochet *c* avec l'aisselier *d* et la moise *e*, qui forment une console sur laquelle porte le pied de la ferme étendu par la jambette *f*.

Le revêtement *h*, fig. 5, devant présenter une surface cylindrique continu, il est soutenu par des fermettes de *remplage* qui portent sur des sablières *g*.

§ 2. *Hangars de filature.*

Les fig. 4 et 7, pl. LXXXVI, représentent des fermes de hangars pour filature.

Ces charpentes sont portées par des poteaux et des aisseliers formant des arcs dont les naissances sont sur les murs et par des poteaux intérieurs montant de fond. Les grandes croix de Saint-André, formées par des moises, en se combinant avec le soutien produit par les poteaux, détruisent la poussée.

§ 3. *Comble conique de Saint-Domingue.*

La fig. 3, pl. XCI, est le profil d'un comble conique exécuté à Saint-Domingue pour couvrir le manège d'une sucrerie. La fig. 7 est un fragment du plan de ce comble. Nous donnons ces deux figures comme un exemple de destruction de la poussée d'une charpente par l'effet de sa forme circulaire.

Les cours des sablières et des pannes fixées sur les arbalétriers forment autant d'aumeaux qui s'opposent à cette poussée. Par suite de cette considération, on aurait pu simplifier beaucoup chaque ferme en diminuant le nombre des pièces qu'on y a employées; on peut même remarquer qu'au moyen de ces pannes circulaires, on pourrait se contenter des seuls arbalétriers boulonnés avec les cours des pannes, et d'une petite enrayure vers le sommet pour maintenir la position verticale du poinçon. Quelques rares croix de Saint-André entre les cours de pannes suffiraient pour s'opposer à la torsion. Il est entendu qu'en rapprochant les pannes, si l'on emploie des ardoises ou du bardeau pour la couverture, les chevrons peuvent être supprimés, et les planches doivent être placées dans la direction des génératrices de la surface conique; mais, dans ce cas, les deux clous qui servent à attacher les ardoises ou les bardeaux doivent être placés sur chaque pièce suivant une génératrice de la surface conique.

IV.

COMBLE EN BOIS RONDS REFENDUS.

Bergerie de Grignon.

M. Polonceau, ingénieur des ponts et chaussées, a fait construire, en 1828 et 1829, pour la bergerie de la ferme de Grignon, un hangar destiné à recevoir, pendant l'hiver, mille brebis ou quatorze cents moutons. Ce hangar est couvert par un comble en bois ronds, écorcés et refendus en deux, genre de construction qui mérite d'être imité pour les bâtiments ruraux.

La fig. 6 de la pl. XCVIII est une partie du plan de cette bergerie, dont les dimensions entre les murs sont de 16 mètres de largeur sur une longueur de 85 mètres divisée en vingt et une travées, celle du milieu étant un peu plus large que les autres, et égale à l'espace compris entre les piliers dans le sens de la largeur du bâtiment.

Ce bâtiment est terminé par deux pignons en maçonnerie (1). Une des dix-huit fermes du comble est représentée fig. 5. Le tirant est formé de trois poutres dressées sur les deux faces qui reçoivent l'application des autres pièces; elles sont assemblées sur les têtes des piliers qui sont en bois ronds portés sur des dés en pierre. Toutes les autres pièces sont simplement refendues à la scie en deux parties, et dans le sens le plus propre à donner deux figures symétriques, pour que chacune puisse être placée symétriquement dans la combinaison d'une même ferme.

Les bois parfaitement droits étant fort rares, on a profité de la courbure de ceux qu'on a employés en donnant un peu de bombement aux deux pans du toit, et l'on a régularisé cette courbure lorsque cela a été nécessaire, en calant convenablement les pannes faites en bois blancs débités à la scie, et ne présentant que deux ou trois faces planes, les autres restant brutes et simplement écorcées. Le lattis a été fait en voliges immédiatement clouées sur les pannes et fausses pannes, suivant les pentes du toit pour recevoir une couverture en bitume. Les pans du comble ont été prolongés en saillie au delà des murs de faces, pour garantir de la pluie les larges ouvertures répondant aux travées.

On a consommé pour cette charpente, qui n'exige presque point de main-d'œuvre, 31 mètres cubes de bois, 60 mètres carrés de planches pour les fausses pannes posées de champ entre les pannes, 2,400 mètres carrés environ de voliges pour le lattis, et 1,360 mètres carrés de planches pour le plancher du grenier à fourrage.

Quoique les fermes n'aient pas de poinçon, et que les assemblages soient faits sans tenons ni mortaises, mais seulement par applications maintenues par des boulons, cette charpente a une grande solidité; elle a subi une épreuve assez forte lors de sa construction. Le toit étant couvert aux deux tiers de sa longueur, une trombe, qui avait eu assez de force pour arracher plusieurs arbres avant de parvenir à la bergerie, n'enleva que les voliges et les pannes d'une partie de la toiture, sans que les fermes aient été ébranlées.

(1) Nous ne donnons point le détail des distributions intérieures, ni des râteliers et barrières, relatifs à l'usage de la bergerie, comme étrangers à l'objet de notre ouvrage.

V.

PETITES FERMES.

Lorsque les charpentes n'ont qu'une faible portée, non-seulement elles exigent moins de bois à cause de la grande réduction des pièces qu'on y emploie, mais on peut aussi diminuer le nombre de pièces en faisant usage de combinaisons plus simples.

§ 1. *Toits simples.*

La fig. 5, pl. LXXXVII, représente une ferme d'un petit toit à deux égouts. Elle n'a point d'arbalétriers : les chevrons correspondant à la ferme en tiennent lieu. La première panne, de chaque côté, est soutenue par une jambette verticale et un tasseau assemblés dans le chevron. Les deux pannes supérieures sont portées par une petite moise-entrait qui saisit les deux chevrons et le poinçon portant le faitage.

La fig. 8, même planche, est le dessin d'une ferme sans tirant ni poinçon. Les arbalétriers sont liés au sommet du toit par un coude, à l'imitation des assemblages de marine. La fig. 10, pl. LXXXVI, représente une ferme du même genre.

Nous ne rapportons sur cette planche la ferme, fig. 9, que parce qu'elle se trouve sur la pl. CIX de l'*Art de Bâtir* de Rondelet, qui l'a tirée de Serlio, et pour avoir occasion de faire remarquer qu'elle est beaucoup trop matérielle, et que le système de son assemblage rend inutiles, les goussets qu'on y a ajoutés.

§ 2. *Fermes portant cintres.*

La fig. 2, pl. LXXXVIII, représente une petite ferme en madriers sans entrait formant cintre pour un comble qui couvre une galerie de peu de largeur, les murs ayant une épaisseur plus que suffisante pour résister à la poussée du toit.

La fig. 6, même planche, est une ferme d'une moyenne ouverture pour le même cas.

La fig. 4, même planche, représente une ferme d'un comble surbaissé d'une faible portée et sans tirant. Les arbalétriers sont en madriers. Je les ai réunis à leurs sommets par une moise formant entrait qui les affleure, et dont les deux parties sont assemblées par entailles, de manière que l'écartement des arbalétriers est maintenu.

§ 3. *Toit à deux égouts en contre-pente.*

La ferme, fig. 3, pl. LXXXVII, appartient à un toit en double appenti. L'é-gout se trouve au milieu de la largeur de l'espace couvert. Les fermes sont des croix de Saint-André en madriers qui sont soutenus par les scellements de leurs bouts dans les murs. Une ouverture dans l'un des murs qui limite la longueur de l'espace couvert, donne issue aux eaux de l'égout commun.

Cette ingénieuse combinaison est de M. Walter, ingénieur civil (1).

§ 4. *Petits toits cylindriques.*

La fig. 7, pl. LXXXV, est une coupe d'un petit toit cylindrique sans chevrons. Les pannes sont soutenus par des veaux couchés sur les jambes de force et sur les arbalétriers; elles y sont clouées. Le lattis est formé par des planches pliées, en les clouant, sur les pannes suivant la courbure du toit.

La fig. 2, même planche, est la coupe d'un comble en ogive suivant le même système.

La fig. 4 représente le même système appliqué à un toit en impériale.

VI.

FERMES EN MAÇONNERIE.

La cherté et la rareté du bois, les précautions contre les incendies, et les convenances, sous le rapport de la destination d'un bâtiment, peuvent déterminer à remplacer, dans certaines bâtisses, les fermes en charpente par des arceaux en maçonnerie.

Nous avons indiqué, tome I^{er}, page 472, et fig. 4, pl. XLIII, une construction de fermes en maçonnerie pour soutenir des pans de toits, dans des bâtiments susceptibles de décorations intérieures; nous complétons ce qui reste à dire sur ce sujet en indiquant quelques autres constructions du même genre.

La fig. 8, planche XCVIII, est le dessin d'une ferme en maçonnerie, comme on en construit en Bretagne, copié sur une des figures du Recueil de M. Lopez, pour soutenir les toits des granges. Ces fermes en pignons sont bâties en briques ou en moellons, et sont percées en ogive. Leur

(1) M. Walter a été professeur à l'École centrale des arts et manufactures.

écartement est proportionné à la longueur des bois destinés à former les pannes. Ce genre de construction est économique et usité dans les contrées où le bois est fort cher.

La figure 7 représente une des fermes en maçonnerie qui soutiennent le toit de la grande halle des forges d'Alais, bâtie en 1832 par M. Communeau, ingénieur civil. Ces fermes sont au nombre de huit, également distribuées entre deux pignons, sur la longueur de la halle, qui est d'environ 64 mètres dans son œuvre; leur écartement est de 7 mètres de milieu en milieu, et leur épaisseur est de 1 mètre; les arceaux seuls sont en briques. La comparaison de la dépense pour la construction des fermes en bois, avec celles pour les fermes en maçonnerie, a déterminé la préférence donnée à ces dernières.

Les pannes sont des sapins auxquels on a laissé leurs formes rondes, leur diamètre moyen est de 0^m,244; leur longueur est d'environ 21 mètres, de sorte qu'ils s'étendent sur trois travées. Ils sont posés tangentiellement aux plans dans lesquels doivent se trouver les faces inférieures des chevrons; leurs gros bouts et leurs petits bouts sont posés alternativement, de manière qu'en somme leur force est la même dans toute l'étendue de la surface du toit de chaque travée.

Les chevrons ont 0^m,10 sur 0^m,12 d'équarrissage, ils sont écartés de 0^m,25.

La couverture est en tuiles creuses posées sur les chevrons, sans l'intermédiaire d'un plancher, à peu près suivant le mode que nous avons indiqué page 434 du tome I^{er}, et fig. 13, pl. XL. Les tuiles formant les rigoles ou chanées sont placées immédiatement entre les intervalles des chevrons et portées par eux.

L'entrepôt de l'octroi de la ville, rue Chauchat à Paris, est construit dans ce genre, si ce n'est que les arcs qui tiennent lieu de fermes sont plus matériels, ils sont en maçonnerie de pierre de taille; les pannes sont équarrées comme celles *f* de la figure 6, pl. XLIII; vu leurs longues portées, à cause du grand écartement qu'on a donné aux arceaux, on a ajouté en dessous des pièces qui doublent leur épaisseur, sur un mètre environ de longueur de chaque côté de leurs scellements dans la maçonnerie.

VIII.

FERMES EN BOIS COUCHÉS.

Nous avons déjà parlé dans le tome I^{er}, page 289, des constructions en bois couchés horizontalement, mais nous n'avions alors en vue que le système

d'assemblage des pièces de bois pour former des murailles. Ce système est employé dans les contrées du Nord, non-seulement pour former des murs, mais pour couvrir des maisons et pour élever des clochers et des dômes.

§ 1. *Constructions russes.*

Les fig. 6, 8 et 9, pl. LXXXVI, montrent l'arrangement des bois, soit pour former des pignons sur les extrémités des bâtisses, soit pour tenir lieu de refends dans les combles, soit, enfin, pour tenir lieu de fermes.

Les pans des combles sont couverts avec des planches, du chaume et du bardeau.

Les flèches de clochers et les dômes s'élèvent sur des plans carrés et octogonaux, au moyen du même système, en couchant les bois en retraite les uns au-dessus des autres, suivant les pans répondant aux faces en talus ou courbes.

Ces sortes de constructions sont ordinairement exécutées en bois équarris, comme ceux que nous avons représentés fig. 6 de la planche XXIII, et fréquemment dans les ouvrages de ce genre les mieux faits, ils sont débillardés sur leurs faces formant les parois intérieures et extérieures lorsqu'elles sont courbes en talus.

§ 2. *Maison suisse.*

Nous donnons, fig. 13 et 14, pl. XCVIII, l'élévation et une partie de la coupe d'une maison suisse, dont les murs sont en bois couchés pour les étages qui s'élèvent au-dessus du rez-de-chaussée, les murs de ce rez-de-chaussée étant en maçonnerie.

Malgré la simplicité presque grossière de ce moyen de construction, on ne peut s'empêcher de trouver une sorte d'élégance dans ces sortes de maisons, très-propres à garantir des atteintes du froid.

Les combles dont la construction participe du mode de bâtisse par bois couchés et du système de nos charpentes ordinaires, ont leurs couvertures en bardeaux de mélèze, de pin et de sapin, et les surfaces de la couverture, aussi bien que les parements des murailles, se couvrent extérieurement d'un vernis résineux que l'ardeur du soleil fait sortir du bois pendant l'été, et qui les garantit de l'influence de la pluie et du brouillard pendant la mauvaise saison.

Les toits ont une grande saillie sur les façades pour garantir les fenêtres de l'atteinte des pluies et des neiges poussées par le vent. La petite croupe qui termine le comble est soutenue sur la façade par les grandes consoles formées par les prolongements des bois couchés des divisions de refend de l'intérieur.

Des frises découpées dans les planches et clouées verticalement ou inclinées composent les ornements de ces habitations très-pittoresques. Les figures 13, 16, 18 et 19 sont des détails de ces sortes d'ornements qui sont formés, suivant les places où ils doivent être employés, par la découpe entière des planches, fig. 13, ou par des entailles, fig. 16 et 17, et des recreusements, fig. 18 et 19, faits sur les arêtes et sur les faces des pièces de bois qui entrent dans la construction des façades.

VIII.

CHARPENTE CHINOISE.

Quoique les pierres propres à bâtir ne manquent point en Chine, le bois est cependant la principale matière dont on fait usage pour la construction des habitations, à cause, dit-on, de l'humidité et dans la crainte des tremblements de terre.

La tente sous laquelle le peuple chinois a vécu, lorsqu'il était nomade, est le type des maisons et notamment de leur toits. Les progrès de la civilisation n'ont presque pu rien changer aux formes primitivement adoptées, les lois les plus anciennes, et pour lesquelles ce peuple a une obéissance religieuse, ayant fixé d'une manière immuable les dimensions, la distribution, le mode de construction et jusqu'au genre de décoration, suivant la profession, la fortune et le rang de chacun.

Le système le plus en usage pour la charpente des combles diffère entièrement de tous ceux dont nous avons parlé précédemment. Il est néanmoins assez bien entendu et convient aux formes des toitures et à la flexibilité des matières que les Chinois emploient dans leurs constructions.

Les pannes sur lesquelles portent les chevrons, la plupart du temps en bambous, sont portées aux places que détermine la courbure adoptée pour le toit, sur des entrails soutenus les uns au-dessus des autres par de petits piliers, de telle sorte que le toit n'exerce aucune poussée sur les entrails ni sur la pièce qui s'étend d'un mur à l'autre, et qui tient la place du tirant dans nos charpentes. La fig. 3 de la planche LXXXVI est un

exemple de ce genre de construction. Le tirant s'étend au-delà du mur pour porter la saillie du toit, et il est soutenu dans ses extrémités par des consoles plus ou moins élégamment découpées, qui concourent à la décoration extérieure et remplacent nos corniches. Ces espèces de fermes sont tenues à leurs distances respectives par les pannes et par quelques entretoises répondant aux assemblages des piliers.

IX.

AUVENTS.

Les auvents sont des petits toits à un seul égout, assez semblables en cela aux appentis, mais qui n'ont pas ordinairement, à cause de leur peu d'étendue, la même destination. Les auvents sont le plus souvent placés sur les façades des bâtiments et au-dessus de leurs ouvertures pour les garantir des atteintes de la pluie chassée par le vent.

Les auvents n'ont point, comme les appentis, de poteaux d'appui sur le devant pour soutenir leur saillie; ils ne sont maintenus que par des scellements faits dans les murs auxquels ils sont appliqués.

§ 1. *Petits auvents.*

Les figures 2 et 8, pl. CXXIII, sont deux profils de deux petits auvents. Ces sortes de constructions sont composées de petites demi-fermes écartées de 1^m,50 à 2 mètres; les blochets *a* et les aisseliers *b* sont scellés dans les murs.

Ces deux pièces portent les sablières *s* sur lesquelles s'appuyaient les coyaux *t* cloués par le haut sur un faitage *y*, fig. 8, retenu au mur par des crochets à scellement. On se contentait quelquefois, fig. 2, de sceller les coyaux dans les murs. Un lattis pour ardoises ou pour feuilles métalliques est cloué sur les coyaux.

Les aisseliers, droits ou cintrés, sont revêtus en planche, quelquefois en panneaux de menuiserie.

Autrefois, on établissait des auvents au-dessus des ouvertures des boutiques, pour garantir, par leur saillie, les marchandises qui y étaient exposées. Depuis que les boutiques sont closes par des vitrages, les saillies des auvents sont fort diminuées, et ils n'ont conservé de leur ancienne destination que celle de recevoir, sur leur revêtement, les enseignes et les noms des marchands.

On fait des auvents qui ont une saillie plus grande que ceux placés

au-dessus des ouvertures des boutiques; ils ont ordinairement pour objet de remplacer des appentis et de servir d'abri à quelques objets ou de couvrir quelques communications qu'on doit parcourir sans recevoir la pluie.

La figure 6 est le profil d'une petite ferme formant auvent et dont la saillie est suffisante pour remplir le but que nous venons d'indiquer : elle couvre, le long d'un mur, la communication entre deux bâtiments séparés par une cour.

Les fermes de ces auvents sont espacés de 2 mètres.

On fait aussi usage d'auvents pour mettre à couvert, le long d'un mur, de grandes échelles que l'on y accroche horizontalement après des potences en fer.

§ 2. Grands auvents.

La figure 5, pl. CXXIII, est un auvent de la plus grande dimension qui ait été faite.

Cet auvent a été construit au port du Helder, par M. Mandar, pour augmenter l'étendue en largeur d'un hangar sur un atelier de charpenterie, et mettre à couvert les ouvriers spécialement chargés du travail des mâts.

Il s'agissait, dans cette construction, de laisser un libre passage aux mâts que l'on conduisait à flot jusqu'au glacis qui précède le chantier. On voit ce glacis en croupe dans la figure en *a b*, et un mât à flot *m* est prêt à y être monté.

La charpente de cet auvent est attachée par la pièce *g* à celle du bâtiment, dont il forme un appendice. Le dessin représente en *n* un des murs de ce bâtiment.

Pour soulager la charpente pendant que l'on travaille les mâts, dans chaque ferme un poteau mobile *d* autour d'une charnière, repose sur la charpente du plancher du chantier.

Tous les poteaux sont relevés, sous l'entrait, au moyen d'un cordage passant sur une poulie *r*, dès qu'il s'agit de livrer passage à des mâts, soit pour les monter sur le chantier, soit pour les conduire à leur destination.

Cet auvent, comme le bâtiment auquel il est ajouté, a environ 65 mètres.

Le profil que nous donnons de cette construction est extrait de la planche XXIV de la 4^e partie des œuvres de Krafft.

CHAPITRE XXIV

COMBLES A GRANDES PORTÉES.§ 1. *Salle d'exercice de Darmstadt.*

Jusqu'au milieu du siècle dernier, les fermes des anciennes basiliques de Rome, dont les tirants avaient 25 mètres de longueur, passaient pour avoir les plus grandes portées qu'on peut donner aux charpentes. Le comble de la salle d'exercice de la ville de Darmstadt (1), construite en 1771, par M. Schubknecht, prouva qu'il était possible de dépasser de beaucoup cette portée, car ce comble couvre un espace de 41 mètres de largeur (2).

Nous donnons le dessin de ce grand comble, pl. XCII. Sa composition est vicieuse en plusieurs points, mais c'est la première tentative de ce genre dans la construction des charpentes à grandes portées, et sous ce point de vue, quoiqu'on y ait employé plus de bois qu'il n'était nécessaire et que les pièces n'y soient pas convenablement combinées, encore était-il utile de la faire connaître à nos lecteurs.

La figure 8, pl. XCII, est le plan de cette salle d'exercice; la figure 6 est l'élévation de la façade principale répondant à l'un des longs côtés du plan. Ces deux figures sont sur une petite échelle.

La figure 5 est une coupe du comble par un plan vertical suivant les lignes *a b* des fig. 7 et 8. Cette coupe montre le système de construction d'une des vingt et une fermes. Il s'en trouve une sur l'axe du milieu de la longueur de l'édifice.

La figure 1 est un fragment de coupe longitudinale, dans lequel se trouve la projection des fenêtres qui éclairent la salle vue du dedans. Faute d'espace sur la longueur de la planche, cette coupe a été remontée; sa ligne *m n* répond de chaque côté de la salle aux points *p* de la figure 5.

(1) Ville d'Allemagne, capitale du grand-duché de Hesse, à sept lieues de Mayence.

(2) La salle a 93^m,60 de longueur

L'espèce de gorge qui forme le raccordement du plafond avec les parois des murs est interrompue devant les fenêtres par deux plans verticaux en forme d'embrasure; les courbes d'intersection de ces deux plans avec la gorge forment deux arêtes courbes.

La gorge et les plans de ces embrasures sont revêtus en planches comme le plafond, ainsi qu'on le voit en *A*; et, pour clouer les planches qui doivent former les arêtes, on a placé à chaque trumeau deux arêtiers courbes qui sont représentés en *r*.

La figure 2 est le détail, sur une échelle double, de l'assemblage *C*, fig. 5, de l'arbalétrier et du tirant avec les bandes de fer qui maintiennent cet assemblage.

Ces bandes de fer sont clouées et boulonnées, et, en outre, attachées par des crampons à deux pointes qui retiennent le crochet qu'on leur a fait en pliant leurs extrémités en dehors.

La figure 3 est le détail, sur une échelle double, d'un assemblage *D*, fig. 5, d'une moise verticale avec le tirant, et de la construction du plafond, dont les solives sont fixées aux tirants par des étriers en fer; cloués contre les pièces de ces tirants et cramponnés au moyen de crampons à deux pointes, qui retiennent les crochets des extrémités de ces étriers.

Le tirant est attaché aux moises par une bande qui est prise dans l'épaisseur de ces moises et qui s'y trouve retenue par des boulons et des chevilles; en dessous, elle soutient le tirant par une rondelle que fixe une clef en fer.

Si les moises eussent embrassé le tirant et que les solives eussent été assemblées dans ce tirant, on aurait évité toute cette pesante ferrure.

Après que les conditions relatives à l'inclinaison des toits ont été satisfaites, celle qu'on s'est proposé de remplir a été de soutenir le tirant; mais on remarque qu'on lui a donné une dimension plus forte que sa destination ne l'exigeait, et qu'on l'a surchargé, en adoptant pour le plafond une construction trop pesante et dans laquelle on a employé trop de fer. On remarque encore qu'on a sans besoin multiplié les pièces qui composent les entrants, et que, par l'effet de la mauvaise disposition des contre-fiches, elles chargent la charpente plus qu'elles ne la soutiennent.

Nous n'avons point copié dans nos planches un comble de 26 mètres de portée, construit sur les murs d'une ancienne église, pour servir de salle d'exercice, que Krafft a représenté dans la planche XXXVI *bis* de son premier recueil, parce que, ainsi que le remarque très-judicieusement M. Rondelet, qui l'a même figuré pl. CIX, sa disposition ne présente *ni régularité ni principe*, et que les pièces qui s'y trouvent combinées,

tendent plus à changer le système qu'à le soutenir. M. Rondelet propose, en regard du dessin qu'il en donne, une ferme de sa composition, pour la même portée. Quoiqu'elle soit fort bien entendue, comme elle ne présente point une combinaison nouvelle, ou qui ne se retrouve pas dans des perfectionnements de M. Rondelet, signalés au sujet d'autres charpentes, nous n'avons pas cru qu'il fût utile de la copier, ce qui eût nécessité de donner aussi, pour terme de comparaison, celle qui a motivé cette correction. Nous pensons, d'ailleurs, qu'il y aurait plus d'inconvénients en multipliant sous les yeux de nos lecteurs des combinaisons qu'on doit se garder d'imiter, qu'il n'y aurait d'avantages à leur indiquer les perfectionnements et les corrections dont elles sont susceptibles, et qui ne seraient que des répétitions de constructions bien connues et que nous avons comprises dans nos planches.

§ 2. *Manège de Lunéville.*

On a corrigé une partie des défauts que nous venons de signaler en imitant le système du comble de la salle d'exercice de Darmstadt, dans la composition de la charpente du manège du Lunéville, dont la portée n'est qu'un peu plus de la moitié de celle du comble de Darmstadt.

Nous avons représenté une ferme de ce manège, fig. 2, pl. XC, d'après des détails qui ont été levés. Ce comble a 25^m,98 de portée. Nonobstant une surabondance dans le nombre des moises pendantes et dans la force des équarrissages des bois, on a fait des corrections utiles et bien entendues, en supprimant les nombreuses contre-fiches et en leur substituant de simples sous-arbalétriers assez écartés des arbalétriers pour qu'ils soient solidement saisis par les moises, et qu'ils trouvent leur appui dans le tirant.

La figure 2 est une partie de la coupe longitudinale de ce comble, suivant la verticale $x y$, pour montrer l'écartement des fermes et la combinaison des moises avec les tirants et les lambourdes qui reçoivent les assemblages des solives, pour ne point affaiblir les tirants par des mortaises ou des entailles.

La figure 3 est une autre partie de la même coupe, suivant la même ligne $x y$, qui montre le haut de la grande ferme sous-faîte.

Ce comble est couvert en tuiles creuses et pesantes.

Malgré le reproche que l'on peut faire à la charpente du comble de la salle d'exercice de la ville de Darmstadt, il faut reconnaître que M. Schubknecht, qui l'a construite, a rendu à l'art un éminent service en mettant en évidence la possibilité d'exécuter des combles sur des portées bien plus grandes que celles auxquelles on s'était timidement borné jusqu'alors.

§ 3. *Manège de Moscou.*

L'empereur de Russie, Paul I^{er}, pendant son voyage dans les différents royaumes de l'Europe, en 1781, portait particulièrement son attention sur les établissements militaires. Il fut émerveillé de la salle d'exercice de Darmstadt, dont nous venons de parler, et qu'on lui montrait avec quelque orgueil comme le plus vaste espace couvert qui existât alors. Il demanda aussitôt que l'on s'occupât d'un projet de manège, pour être construit à Moscou, sur un terrain de 1 800 pieds de long (environ 585 mètres) sur 290 pieds de largeur (environ 95 mètres). Ce manège devait avoir 220 pieds de largeur dans œuvre (environ 72 mètres) et être entouré intérieurement d'une galerie pour les spectateurs; il devait recevoir des appareils pour son chauffage pendant l'hiver. Un projet qui réunissait toutes ces conditions fut présenté à l'empereur par un charpentier allemand au retour de son voyage; mais on ne donna point suite à cette gigantesque entreprise.

Kraft annonce que le projet fut exécuté en 1790, et qu'il sert de salle d'exercice pour l'infanterie et la cavalerie cosaques; c'est une erreur. M. Rondelet, dans la note n° 1 de la page 133 du tome III de son *Art de bâtir*, affirme qu'il a appris d'une manière formelle, par la déclaration de M. Bétancourt, dont nous parlerons plus loin, que ce manège n'a jamais existé. Mais 27 ans plus tard, comme nous le verrons bientôt, les vues de Paul I^{er} furent réalisées par la construction d'une salle de manœuvre, également à Moscou.

La figure 4 de notre planche XCXIII est un profil du manège projeté par le charpentier allemand dont nous avons parlé plus haut. Ce profil présente une des 68 fermes qui devaient composer cet immense manège, d'après la pl. XXXIX du premier recueil de Kraft.

La fig. 2 est, sur une petite échelle, l'élévation de la façade extérieure d'une des extrémités du manège. Sa longueur, hors œuvre, devait être de 800 pieds (environ 260 mètres); sa largeur, également hors œuvre, aurait été de 290 pieds (environ 94 mètres); l'épaisseur des murs et la largeur de la galerie intérieure auraient réduit sa largeur dans œuvre à 240 pieds (environ 78 mètres).

Le principal soutien de ce comble, dont les pans ont une inclinaison de 19°, devait être dans chaque ferme un arc formé de trois cours de poutres assemblées à crans, à l'imitation de ceux employés dans les ponts que nous décrirons au chapitre XXXVIII.

Les moises pendantes qui saisissent cet arc soutiennent le grand tirant composé d'un seul cours de poutres entées bout à bout à trait de Jupiter.

On ne peut qu'applaudir, dit Rondelet, à la juste défiance qui a mis l'autorité en garde contre ce qu'un pareil projet avait de séduisant dans les circonstances qui l'avaient fait naître. En effet, quoique en apparence assez bien combinée, il est évident que cette charpente n'aurait pas pu se soutenir, surtout à cause de la faiblesse de son tirant; et même l'équarrissage et la combinaison des poutres qui devaient la composer, eussent-ils été suffisants pour s'opposer à l'énorme poussée d'un arc chargé de plus de 1200 milliers, aucun des assemblages à traits de Jupiter n'était capable de résister aux efforts occasionnés par un pareil poids.

Krafft a cru remédier aux défauts de ce projet en proposant une moise cintrée qui aurait embrassé tous les poinçons, et qui est ponctuée sur le dessin en *Y Y*.

Rondelet, à son tour, a proposé des perfectionnements plus judicieux dans la composition de cette ferme. Ils consistent, suivant la figure qu'il en a donnée, planche *CXV*, dans les changements que j'ai indiqués en lignes ponctuées, sur la fig. 4 de la planche *XCIII*, principalement dans l'augmentation de la force de l'arc dont il voulait qu'on portât l'épaisseur à cinq cours de poutres au lieu de trois; dans l'établissement d'un entrain *O*; dans la disposition des décharges *m, n, p*, qui reporteraient les efforts dus au poids des moises verticales sur les extrémités du tirant, et, enfin, dans la dimension double de l'épaisseur du tirant qu'il voudrait composer de deux pièces. Nonobstant tous ces perfectionnements, la solidité d'une ferme d'une si grande portée est encore problématique, à cause de la trop grande quantité de bois que l'on y emploie, et de l'insuffisance de la résistance dans les assemblages.

La figure 1 de notre même planche *XCII* est la coupe d'une des lanternes qui devaient être établies sur plusieurs points de la longueur du comble, pour éclairer l'intérieur du manège, et suppléer à l'insuffisance des fenêtres, malgré leur nombre et leurs dimensions.

§ 4. Salle d'exercice de Moscou.

L'empereur Alexandre ayant résolu de passer l'hiver de 1817 à 1818, à Moscou, fit dresser différents projets d'une salle d'exercice qu'il voulait faire construire, pour que l'instruction des troupes, qui devaient s'y trouver réunies en grand nombre, ne fût pas interrompue par la rigueur de la saison. Il s'agissait de dépasser l'étendue de celle du palais Saint-Michel, à Pétersbourg, dont la largeur est de 36^m,40 et la longueur de 117, et même de dépasser aussi les dimensions de la salle de Darmstadt, que nous avons décrite ci-dessus.

Plusieurs projets furent présentés : ils étaient conçus sur des largeurs de

34 à 37 mètres; leur examen fut renvoyé à M. de Bétancourt, lieutenant général et directeur général des voies de communication en Russie; aucun d'eux ne remplissait les conditions, et comme il *s'en fallait de beaucoup que la composition des charpentes offrît une sécurité complète sur leur solidité*, l'empereur chargea M. de Bétancourt de s'occuper de cet objet dans le plus bref délai.

En présentant son projet, M. de Bétancourt obtint l'autorisation de faire exécuter deux fermes d'essai, pour leur faire subir les épreuves propres à déterminer la confiance que l'on pourrait avoir dans leur force.

L'une de ces fermes est représentée, fig. 3 de la planche XCIV. Le tirant avait 48^m,75 de longueur totale, sa portée répondant à la largeur que devait avoir la salle (1).

Les deux fermes d'épreuve, espacées de 45^m,50, étaient liées près des sommets des poinçons par des moises horizontales *N*, et par des croix de Saint-André; elles étaient posées sur trois rangs de sablières, élevées de 16^m,25 au-dessus du sol, sur des murs en briques.

Pour s'assurer des mouvements qui pourraient avoir lieu pendant les épreuves, on avait établi de distance en distance des règles graduées et des fils à plomb qui devaient marquer tous les mouvements avec assez de précision pour qu'on pût en tenir compte.

Lorsque les échafauds qui avaient servi au levage furent enlevés, et que les fermes ne furent plus soutenues que par les extrémités de leurs tirants, portant sur les sablières, elles descendirent l'une de 0^m,08, et l'autre de 0^m,095, ce qui réduisit d'autant la flèche de 0^m,325 de bombement qu'on avait donné dans le milieu des tirants.

Des planches mobiles furent posées sur les entrants pour recevoir les poids d'épreuve; on fit charger ces planches de 5,000 briques, pesant 16,154 kilog., l'effet en fut presque nul; la charge fut doublée, elle fit serrer les assemblages et baisser le tirant de 0^m,023; réparties d'une manière assez uniforme, mais non permanente, les alternatives de sécheresse et d'humidité faisaient osciller les fermes dans les limites de 4 à 7 millimètres.

Afin de prévoir le cas de l'accumulation inégale des neiges sur les pans du toit, on chargea un côté seulement d'un supplément de 5,000 briques, l'effet fut imperceptible tant aux règles qu'aux fils à plomb. Enfin, 10,000 briques furent encore réparties sur le toit et sur les planches, de façon qu'en outre de leur propre poids, ces deux fermes étaient chargées de 80,768 kil., c'est-à-dire 40,384 kil., sur chacune, et la diminution de la flèche du tirant ne s'était accrue que de 4 lignes et demi, de

(1) Cette salle a 501 pieds anglais (152^m, 69) de longueur, sur 150 (45^m, 71) de largeur.

sorte qu'elle était encore de 1 centimètre au-dessus de la ligne horizontale. Mais on remarqua que les clefs des traits de Jupiter des poutres dont les tirants étaient formés se trouvaient écrasées, et que les boulons 0^m,027 qui serraient les poutres, n'avaient pas suffi pour empêcher le mouvement de glissement qui s'était fait dans les tirants. C'est alors que M. de Bétancourt substitua aux clefs, comme celles des arbalétriers, des endents, qu'on voit sur le tirant, le poids que ces deux fermes avaient supporté, étant fort supérieur à celui dont elles seraient chargées par la toiture, et son plancher et même par les neiges. Après les légers changements dont nous venons de parler, M. de Bétancourt renouça à les écraser sous une charge plus grande, comme il se l'était d'abord proposé.

La construction de ce monument n'exigea que cinq mois de travail. On peut se figurer l'activité qu'il a fallu déployer dans une si grande œuvre. Nous donnons, fig. 3, pl. XCH, sur une petite échelle, l'élevation de l'une de ses extrémités.

Ce qu'il y a de fort remarquable dans la composition de ses fermes, après l'excellente combinaison des pièces tant qu'on s'astreint à l'emploi d'un entrain, c'est l'interposition de la fonte de fer dans les assemblages. Nous reviendrons sur ce point, dans le chapitre XXXIII.

En observant que la rectitude des poutres se trouve puissamment maintenue par les sous-arbalétriers ou faux-arbalétriers, Rondelet critique, d'une part, l'accroissement de la charge du tirant, à mesure que le toit s'élève, à cause de la hauteur que prennent les poinçons, sans que leur force de résistance reçoive aucun accroissement, et il regrette que le poinçon principal soit trop faiblement suspendu par les extrémités des arbalétriers, et que l'effort auquel doit résister la tête de chaque poinçon, soit reporté par les contre-fiches *m* sur le pied d'un autre poinçon dont ils augmentent ainsi la charge; il voudrait que les contre-fiches fussent dirigées comme elles sont ponctuées en *n*, sur la même figure 3, afin que les charges des poinçons fussent au contraire renvoyées aux extrémités des entrains.

Je n'approuve point entièrement ces critiques, d'abord, parce que tant qu'on s'astreint à l'emploi d'un tirant dans la vue d'établir un plafond plan au-dessus de l'espace couvert, il faut bien soutenir ce tirant, et ensuite, parce qu'il n'y a pas moyen d'empêcher dans ces sortes de systèmes, que le bois de la charpente n'augmente à mesure que le comble s'élève, vu que son sommet est plus distant du tirant qu'il faut bien soutenir, enfin, parce que les contre-fiches *n* ont plus de longueur que celles *m*. Nous remarquerons encore que l'attache du poinçon du milieu aux arbalétriers a une suffisante solidité, car ce poinçon ne pèse pas sur le tirant de la totalité de son poids, puisqu'il est soutenu par les entrains supérieurs sur lesquels il forme moise.

A l'égard des contre-fiches, celles proposées par Rondelet reportent en effet le poids des entrails supérieurs sur les extrémités des entrails inférieurs; mais elles n'atteignent pas le but, très-bien entendu, de celles de M. de Bétancourt, qui est de soutenir les jonctions des entrails et des arbalétriers qui ont pour intermédiaires les poinçons, et d'accroître par conséquent la force de résistance des bouts des entrails.

Au surplus, ce qui prouve la bonté de la combinaison adoptée par M. de Bétancourt, c'est sa résistance sous des épreuves décisives, et le peu d'accidents qui ont eu lieu après la construction et l'achèvement de la totalité du comble.

M. de Bétancourt avait donné à la hauteur des fermes, le cinquième de leur portée pour conserver à la charpente sa solidité sans que les frontons des façades extérieures du bâtiment fussent désagréables. Ne pouvant se procurer assez de bois des dimensions convenables pour donner aux poutres composant le tirant une même longueur en n'employant que sept poinçons, comme le représente le dessin, il a fallu porter à neuf le nombre de ces poinçons. Soit par manque de matériaux, malgré leur abondance dans le pays, ou par faute de temps, on n'a pu faire que trente-deux fermes répondant aux axes des colonnes, et espacées de 5^m,85 (dans les épreuves elles n'étaient espacées que de 4^m,55), et cette distance même était trop grande pour un comble ordinaire.

Deux files de croix de Saint-André entre les poinçons, et treize cours de moises horizontales s'opposaient au hiement dans le sens de la longueur de l'édifice.

Après que l'ouvrage fut terminé et suffisamment lié, on ôta les supports, et l'abaissement des fermes s'est trouvé de moins de 0^m,054 et ne dépassait dans aucune ferme 0^m,175 suivant la perfection de leur exécution, et le degré de siccité du bois.

Le terme moyen de l'abaissement des tirants avait été trouvé de 4 pouces $\frac{31}{100}$, = 0^m,117. Ils se soutinrent dans le même état jusqu'au mois d'avril : à la fin de ce mois, il était de 4[°] $\frac{92}{100}$; ainsi, en cinq mois d'hiver les tirants n'avaient descendu, dans le milieu de leur longueur, que d'un peu plus d'un demi-pouce.

Le terme moyen de l'abaissement des tirants, qui n'était à la fin d'avril que

$$\begin{aligned} & \text{de } 4^{\circ} \frac{92}{100} = 0^{\text{m}},134; \\ \text{fut à la fin de mai de } & 5 \frac{97}{100} = 0^{\text{m}},161; \\ & \text{à la fin de juin de } 6 \frac{97}{100} = 0^{\text{m}},188; \\ & \text{à la fin de juillet de } 8 \frac{3}{100} = 0^{\text{m}},2165; \\ & \text{à la fin d'août de } 8 \frac{10}{100} = 0^{\text{m}},219; \end{aligned}$$

Depuis cette époque, les fermes se soutinrent dans leurs positions.

On put remarquer que les affaisements suivaient l'accroissement de la dessiccation du bois, qui rend les assemblages de plus en plus lâches. Une grande partie de ces bois avait été coupée et flottée sur la rivière peu de jours avant leur emploi. 400 charpentiers travaillaient avec la hache, leur unique instrument; on n'avait pas le temps de choisir les plus adroits pour leur confier les assemblages les plus difficiles ou qui demandaient le plus de précision; on manquait enfin de moyens de surveillance; les entailles et les trous des boulons étaient faits sans exactitude. Il fallait enfin finir pour le temps qui était imposé.

Le 1^{er} juillet 1819, le tirant de la 24^e ferme avait descendu dans son milieu de 0^m,027; deux jours après un grand craquement annonça la rupture de ce tirant, près d'un poinçon, au point répondant à un trait de Jupiter, et laissant un écart de 0^m,08 à 0^m,11. Le tirant n'avait cependant descendu que de 0^m,027, et les deux fermes voisines n'avaient cédé, l'une que de 0^m,02, et l'autre de 0^m,013.

Le comble resta dans cet état pendant cinq heures, temps nécessaire pour étayer la ferme où la rupture s'était manifestée, et les deux voisines.

Pour réparer cet accident, M. de Bétancourt fit soutenir les fermes sous les arbalétriers, et l'on dévissa les boulons pour enlever tous les bois qui embrassaient les deux pièces rompues : le tirant se resserra de 0^m,054 (1). On plaça les deux nouvelles poutres, ayant la précaution de relever le milieu de ce tirant de 0^m,11; lorsque toutes les pièces furent rétablies dans l'état primitif, on enleva les étais, et l'on ne remarqua pas le moindre affaissement.

Un examen attentif a fait voir que la cause de la rupture avait été un très-gros nœud, dans une des poutres du cours supérieur, répondant précisément à une des poutres du cours inférieur. En remplaçant les poutres rompues, M. de Bétancourt n'a plus employé le trait de Jupiter; les pièces qui ont été posées bout à bout à plat-joint, ont été liées par des bandes de fer coudées par leurs extrémités, comme la figure 7 les représente.

Krafft a proposé deux combinaisons pour des fermes de la même portée que celles exécutées avec succès par M. de Bétancourt; nous les avons copiées sur notre planche XCIII, pour ne rien omettre de ce qui a été fait en charpenterie. Le changement qu'il propose, fig. 10 et 11, consiste dans la substitution d'un grand arc d'assemblage aux entrants et contre-

(1) On ne conçoit guère comment le tirant, interrompu par la suppression des deux pièces rompues, a pu se resserrer. Il faut néanmoins croire ce fait, puisque M. de Bétancourt l'a observé.

fiches; mais on doit remarquer que cet arc, en reportant toutes les poussées sur les extrémités du tirant, nécessiterait de donner à ce dernier une plus grande force. Le seul perfectionnement qui me paraîtrait utile dans le système de M. de Bétancourt, serait de lier les entrails de tous les étages aux arbalétriers, par des bandes de fer forgées, afin de les faire participer à la résistance contre les poussées de ces arbalétriers, et de soulager ainsi le tirant.

Dans les figures 8 et 9, M. Krafft propose, comme principal soutien des pans du comble, un arc d'assemblage duquel un petit entrail et des contre-fiches compléteraient le système; il supprime complètement le tirant en bois, et le remplace par un tirant en fer forgé, formé de fortes tringles réunies bout à bout par des joints à clef. Il y a lieu de présumer que, pour résister à l'énorme poussée d'un pareil système, il faudrait que le tirant en fer fût fort gros, par conséquent fort coûteux; et son poids lui ferait prendre une courbure d'un aspect désagréable. Cependant, cette idée d'un tirant en fer proposé au commencement de ce siècle a été utile, et l'on en a profité; elle a indiqué le secours que l'on peut tirer de l'emploi du fer. Nous reviendrons sur ce sujet au chapitre XXXIII.

CHAPITRE XXV.

CHARPENTES DU MOYEN AGE.

Le caractère le plus général des charpentes du moyen âge est de présenter autant de fermes qu'il y a de chevrons pour former le toit. Toutes ces fermes sont égales dans leur forme générale, mais quelques-unes d'entre elles, que l'on désigne sous le nom de maitresses fermes, diffèrent quelquefois des autres appelées fermettes et fermes de remplage, par la présence d'un tirant et d'un poinçon. Nous donnons, pl. XCIII et XCIV, trois exemples de ce genre de construction pris dans des monuments de France, et qui sont les types de ce genre de construction. On en trouve, quoique rarement, des exemples, dans quelques parties de l'Allemagne.

Longtemps après l'époque qui lui a donné son nom, on a voulu imiter ce genre de construction, mais sans s'attacher à lui conserver sa légèreté. C'est ainsi que le comble de la cathédrale de Versailles, commencée en 1743 par M. Mansard de Sagonne, et terminée en 1754, est composé d'une suite de fermes très-rapprochées, qui portent la toiture sans l'intermédiaire de pannes, mais avec une profusion de bois, telle que l'élégant système du moyen âge est complètement défiguré.

§ 1. *Couvent des Prêcheresses à Metz*

La fig. 4, pl. XCV, est une coupe du comble construit sur un des corps de bâtiment du couvent des Prêcheresses à Metz; une fermette simple est projetée sur une maitresse ferme.

Cette charpente est établie sur une grande salle. On présume qu'elle a été construite vers 1278, époque où ces religieuses quittèrent le quartier du Pont-Ifroy pour venir s'établir dans la rue qui porte aujourd'hui leur nom.

La figure 5 est une coupe suivant la longueur du comble. Les maitresses fermes se distinguent des autres par une épaisseur un peu plus grande, et par un tirant et un grand poinçon qui n'existent point aux fermes simples. Ce poinçon a pour objet de soutenir le tirant, qui est d'un faible équarrissage, n'ayant point de plancher à porter, et devant seulement maintenir l'écartement des sablières pour s'opposer à la poussée du comble. Les

tirants sont assemblés par entailles faites à leurs faces inférieures, sur les sablières qui ne sont point entailées.

Les fermettes reposent à leurs naissances sur des blochets qui sont entailés en dessus pour être maintenus par les sablières. Dans une ferme les courbes du cintre s'assemblent à tenon dans le poinçon. Dans les fermettes, elles aboutent l'une contre l'autre, et sont attachées à l'entrait et au poinçon supérieur, par deux boulons et par un étrier.

Tous les bois de cette charpente, fort légère et d'un style fort gracieux, sont équarris à vives arêtes et polis au rabot. Lorsque je l'ai vue, vers 1810, elle était dans un état parfait de conservation; le comble est couvert en ardoises.

§ 2. *Salle des États de Blois.*

La fig. 5, pl. XCVI, est un fragment du plan du château de Blois, représentant celui de la salle des États, située au premier étage du corps du bâtiment de l'Est, et célèbre par les événements qui s'y sont passés.

L'escalier *A*, qui est sur le côté de cette salle, monte de la galerie du rez-de-chaussée, et répond à son entrée principale. Un escalier *B*, qui conduisait à l'appartement occupé, en 1538, par le roi Henri III, a été démoli il y a peu d'années, lorsque le château a été consacré au casernement des troupes.

On croit que cette partie du bâtiment fut construite vers le milieu du XIII^e siècle, sous le règne de Saint-Louis. La salle des États a près de 31 mètres de longueur sur 17^m,76 de largeur.

La figure 4 est une coupe en travers de cette salle sur la ligne *cd d'c'* du plan, et la figure 3 est une coupe suivant sa longueur prise sur la ligne *a b*.

La figure 2 est, sur une plus grande échelle, le détail d'une ferme dans le même sens que la coupe fig. 4, et la figure 1 est un détail de la coupe en long fig. 3.

Vu la grande largeur du bâtiment, l'architecte a dû, suivant l'usage de l'époque, donner une grande hauteur au comble, et pour n'y employer que du bois d'un faible équarrissage, il a été forcé de diviser la largeur de la salle par un refend percé d'arcades en ogive portées sur des colonnes, comme on en voit le détail, fig. 1, de telle sorte que chaque ferme se trouve formée de deux parties symétriques portant chacune un cintre aussi en ogive.

La charpente est composée, suivant cette combinaison, de maitresses fermes et de fermettes. Les maitresses fermes seules ont des tirants.

Un tirant commun aux deux cintres d'une ferme s'assemble par entailles

sur les sablières, portées par les trois murs et en retient l'écartement. Dans chaque ferme, un poinçon qui répond à son milieu, soutient la partie du tirant qui lui correspond. Les sablières portent les blochets entaillés dans lesquels les arcs des fermettes prennent naissance; tous les bois sont équarris à vives arêtes.

Les espaces entre les fermes et fermettes étaient remplis par une sorte de *cuvelage*, formé de planchettes clouées avec des pointes dans les feuillures pratiquées sur les bords des arcs, et affleurant leurs parois intérieures, ce qui donnait à cette construction l'apparence de deux voûtes gracieuses, dont les surfaces étaient décorées d'ornements peints de la couleur du bois, et relevés par quelques parties dorées.

Les pans qu'on a faits sur les arêtes des tirants pour les rendre plus légers, et la forme d'une colonnette avec sa base et son chapiteau, qu'on a adoptée pour chaque poinçon, donnent à l'assemblage de cette voûte en bois un aspect très-élégant (1).

Le défaut d'entretien, et peut-être des dégâts malheureusement commis à plaisir, ont fait tomber un grand nombre des planchettes de la voûte, ce qui permet aujourd'hui de voir la charpente qui jadis se trouvait cachée, avantage qui ne dédommage pas de la dégradation d'une construction si curieuse.

§ 3. *Salle des Pas-Perdus du Palais, à Rouen.*

Le bâtiment de la salle des Procureurs ou des Pas-Perdus est la partie la plus ancienne du Palais de Justice de Rouen; il fut bâti en 1493. Son comble est composé de 42 fermes exactement pareilles et également espacées, entre deux pignons.

La longueur de la salle est de 47^m,03, sa largeur est de 16^m,60 dans œuvre, portée des fermes dont aucune n'a de tirant.

La figure 1 de la planche XCXV représente une ferme de ce comble d'une hardiesse surprenante, la hauteur de la planche s'étant trouvée insuffisante pour celle d'une ferme, sur l'échelle que nous avons dû adopter, la figure 2 en est le complément à partir de l'entrait répondant au sommet de l'ogive.

Faute d'espace sur cette planche, nous n'avons point figuré les détails des murs; il suffit de dire qu'ils ont près de 2 mètres d'épaisseur, et

(1) Lors de la tenue des États, les murs et les colonnes étaient revêtus en velours rouge avec des ornements en or.

qu'ils sont consolidés par des contre-forts extérieurs, distribués entre les fenêtres et surmontés comme les lucarnes de clochetons massifs.

Un revêtement intérieur, en planches clouées sur les arcs des fermes, cache entièrement la charpente, et présente l'aspect étonnant d'une grande voûte en ogive.

Nous n'avons point donné de coupe de ce comble dans le sens de sa longueur, parce qu'il ne présente aucune combinaison particulière; il n'y a point, à proprement parler, de ferme sous-faite dans laquelle pourraient se combiner des croix de Saint-André, vu que le revêtement de la voûte, qu'on a comparé au vaigrage d'un vaisseau de premier rang, a paru suffisant pour empêcher le hiement dans le sens de la longueur, le comble étant d'ailleurs maintenu entre deux solides pignons.

L'intérieur de la charpente est aéré dans la partie la plus élevée par de très-minimes lucarnes, le lattis et le revêtement intérieurs empêchent d'y pénétrer autrement qu'en perçant la couverture, lorsqu'il s'agit de quelques réparations. C'est dans une occasion pareille que M. Grégoire, architecte de la ville, a pu en faire le dessin, qu'il m'a communiqué avec une extrême obligeance.

§ 4. Grange de Meslay, par Tours.

La grange de Meslay est située à 9 kilomètres de Tours, sur la grande route de Paris, par Chartres. Elle servait à mettre à couvert les récoltes du principal établissement agricole de la riche abbaye de Marmoutier, qui occupait jadis un des faubourgs de Tours.

Cette grange était renfermée dans une clôture, formée de murs de 1 mètre d'épaisseur sur 10 de hauteur. Les *Chroniques de Marmoutier* font mention d'une attaque et de la prise de cette espèce de fortification, par des corps écossais qui avaient suivi l'armée française lorsqu'elle revint après avoir échoué dans une expédition contre l'Angleterre. Par suite de ces événements, la grange fut brûlée, le 14 septembre 1422, étant remplie de grains, de vin et de toutes sortes de fourrages. Elle fut reconstruite presque immédiatement après ce désastre, de sorte que la nouvelle grange date de 450 ans. Elle a une grande célébrité dans le pays, à cause de ses grandes dimensions et de sa charpente, qui est toute en châtaignier du plus beau choix; tous les bois sont équarris à vives arêtes et dressés avec le plus grand soin; les principales pièces sont remarquables par leurs dimensions en longueur et leur équarrissage.

Ces considérations nous ont déterminé à donner les dessins de cette

grange que nous devons à l'obligeance de M. Déroutet, chef de bataillon du génie, qui en est propriétaire.

La figure 9 de la planche XCVII est le plan général du bâtiment, qui a un peu plus de 24 mètres de largeur et plus de 50 de longueur (75 pieds sur 150), dans œuvre.

La figure 7 est une élévation de la façade principale, dont le style est fort antérieur à l'époque de la reconstruction de la charpente; ce qui fait présumer que les murs souffrirent peu de l'incendie.

La figure 8 est le dessin d'une des 12 fermes qui composent cet immense comble, dont l'effet intérieur a quelque chose de surprenant lorsqu'on peut le visiter avant la rentrée des récoltes.

§ 5. *Projets de Mathurin Jousse.*

Les figures 6 et 7, pl. XCVI, représentent des fermes pour des combles d'églises, tirées du *Traité de Charpenterie* de Mathurin Jousse; rien n'annonce qu'elles aient été exécutées.

§ 6. *Charpente arabe.*

Les combles construits par les Arabes ont beaucoup de rapport avec nos charpentes du moyen âge, ou plutôt il est probable que les charpentiers africains ont fourni aux nôtres des modèles de légèreté et de combinaisons qui ont été modifiés suivant notre climat et les usages de l'époque.

J'ai dessiné, fig. 11, pl. XCIX, en projection verticale, et fig. 12, en projection horizontale, vus par l'intérieur, les détails d'une charpente arabe couvrant un salon de 6 mètres de largeur et de 8 de longueur, où j'étais logé en 1811, dans le fort d'*Alcala-Réal*, au royaume de Jaen, en Espagne. La figure 13 est le plan de ce salon. La coupe est faite suivant la ligne *C D* du plan fig. 12.

Le comble est composé de deux longs pans et de deux croupes, forme qui paraît avoir été inventée par les charpentiers arabes, avant qu'on en fit usage en Europe.

Cette charpente est en beau bois de pin, équarri à vives arêtes et bien dressé; les pièces n'ont que 11 centimètres d'équarrissage. Toutes les fermes et fermettes sont égales et également espacées. Deux fermes voisines l'une de l'autre ont chacune un tirant, et les deux tirants sont combinés l'un à l'autre par des pièces d'assemblage; ils retiennent les sablières dans lesquelles tous les chevrons sont assemblés. Entre les fermes ainsi jumelées

sont quatre fermettes sans tirants, les pannes sont assemblées dans les chevrons, et elles concourent avec eux à la formation des caissons qui font la décoration de l'intérieur du comble.

Les entrails et les entretoises qui y sont assemblées composent un grillage, au-dessus duquel des planches, jointes à rainures et languettes, forment le plafond. Différentes pièces de rapport en lattes minces dessinent des entrelacs arabesques et des étoiles.

Les naissances des pans du toit et des pans des croupes, ainsi que leurs jonctions au plafond, sont également ornées de compartiments du même genre. Tout l'intérieur de cette espèce de voûte est peint en brun clair, les fonds des caissons sont peints en rouge et en blanc les plus éclatants; des rosettes dorées les décorent, quelques filets en or rehaussent les moulures des compartiments, le tout forme une décoration extrêmement élégante. Les murailles sont couvertes de reliefs arabesques en plâtre qui ont été badigeonnés, et qui sont les seuls objets dégradés dans cette salle, construite depuis plus de 380 ans.

Les combles des bâtiments de l'Alhambra, à Grenade, et des autres bâtiments arabes de l'Andalousie, sont construits de la même manière, sauf la variété et la complication des compartiments que l'étendue et la destination des salles qu'ils couvrent ont déterminées pour la décoration de leurs plafonds.

CHAPITRE XXVI.

CHARPENTES A PENDENTIFS.

Nous avons déjà parlé, pages 23 et 30, de quelques pendentifs formés par les prolongements des poinçons dans les charpentes qui imitent les voûtes gothiques, mais les charpentes à pendentifs que nous allons décrire, ont un caractère qui les distingue tellement de tous les autres systèmes, que nous avons dû leur consacrer un chapitre particulier. Ce genre de construction paraît avoir été plus particulièrement en usage en Angleterre, où il a été porté à sa perfection sous le rapport de l'élégance des combinaisons, et de la richesse des ornements qui en font partie, quoiqu'ils ne s'écartent point du goût qu'on remarque dans les ouvrages du moyen âge.

I.

CHARPENTES ANGLAISES.

§ 1. *Westminster Hall.*

Westminster Hall était autrefois la salle des festins du palais du roi. Sa première construction remonte au règne de Guillaume-le-Roux, au commencement du XI^e siècle; mais trois siècles plus tard elle fut rebâtie par Richard II, qui, lors de son avènement, y célébra la fête de Noël, en 1399, par des banquets d'une splendeur extraordinaire (1). Excepté du côté du nord, où sa façade principale fut décorée d'un riche portique avec une grande quantité de statues placées dans des niches, ce monument n'a point à l'extérieur une belle apparence, et son toit aigu ressemble à celui d'une grande et vilaine grange. On reconnaît cependant que c'est un édifice important, à cause de ses vastes dimensions : le dedans

(1) On prétend que le nombre des convives qui y furent traités par le roi pendant plusieurs jours, n'était pas moindre que de dix mille.

offre par son élégance et la richesse de sa charpente, une compensation de la simplicité du dehors. L'aspect intérieur de ce vaste vaisseau est celui d'une cathédrale dont la largeur totale n'est point divisée par des piliers.

Nous donnons, fig. 7, pl. C, d'après l'ouvrage de M. Pugin, architecte, le dessin de la moitié d'une ferme de ce comble. Elle se compose de deux arbalétriers *a a* assemblés par le haut dans un poinçon *b*, et réunis dans le milieu de leur longueur par un entrait *d*. Il n'y a point de tirant; à sa place sont deux tasseaux, un *e* de chaque côté qui reçoit l'assemblage d'un arbalétrier. Ces tasseaux sont horizontaux; ils sont soutenus chacun par une courbe *g*; le bout du tasseau supporte une aiguille *h* à pans et décorée d'une base et d'un chapiteau; cette aiguille soutient l'entrait à sa jonction avec l'arbalétrier. Une contre-fiche *c* s'assemble dans cette aiguille, et reporte une partie du poids qu'elle supporte sur un blochet *i* couché en dessus du tasseau; elle passe dans l'épaisseur du remplissage en menuiserie.

Un aisselier *j* prolonge la direction de cette contre-fiche au-dessous du tasseau jusqu'au montant appliqué contre le mur.

À la moitié de la hauteur, entre l'entrait principal et le faitage *f*, se trouve un deuxième entrait *k* assemblé dans de petites aiguilles *n* qui soulagent les arbalétriers aux points où ils reçoivent les assemblages des pannes les plus élevées *o*; un grand arc *m* prend naissance comme la courbe *g* sur un cul-de-lampe *r* en pierre placé au niveau de la corniche intérieure à la moitié de la hauteur des murs qui ont 42 pieds anglais (12^m,80), depuis le sol de la salle jusque sous les tasseaux *e*.

Cet arc est de deux pièces boulonnées, comme celles d'une moise; il embrasse dans son épaisseur les tasseaux *e*, les aiguilles *h*, et même l'entrait *d*, qu'il soutient dans son milieu en formant une ogive. Un autre arc plus petit *p* prend naissance sur le bout du tasseau *e*, et en s'élevant il se raccorde avec le dessous du grand arc; il reporte une partie du poids de la charpente sur l'extrémité de la console formée par le tasseau *e* et la courbe *g* qui prend naissance sur le même cul-de-lampe *r* que le grand arc.

On voit que le tasseau *e*, l'aiguille *g*, la portion d'arc *p* et la courbe *g*, forment un pendentif lié aux arbalétriers par un grand boulon en fer *w* qui a son écrou sous l'arc *g*. Ce pendentif donne une très-grande force à la charpente, et atténue sa poussée qui se trouve agir sur les parties des

(1) *Specimens of gothic architecture selected from various ancient edifices in England*, par A. Pugin, architecte; London, 1823.

murs comprises entre le cul-de-lampe *r* et les sablières; des contre-forts extérieurs répondent à chaque ferme, et s'opposent à cette poussée. Le toit est formé comme de coutume par les chevrons portés par les pannes. La figure 1 est une coupe du comble dans le sens de la longueur de la salle. Cette coupe comprend une travée de deux fermes, elle fait voir que ce comble est formé de trois divisions : la première, qui prend naissance à la corniche, se termine aux tasseaux; la seconde est comprise entre les tasseaux et les grands entrails; la troisième occupe le reste de la hauteur depuis les grands entrails jusqu'au faitage. On y remarque les aisseliers *s* qui soutiennent le faitage; ceux *t* qui soutiennent une des pannes *o*; la coupe du petit entrait *v* qui s'assemble d'un côté à l'autre du toit dans les pannes pour qu'elles ne puissent fléchir sous la charge de la couverture.

Les pannes *c* qui répondent à l'entrait *d* ont pour soutien l'arc formé par les aisseliers *y* courbes qui contribuent à la décoration de la charpente.

Ces mêmes pannes sont arc-boutées chacune sur l'entrait par deux petites pièces *x*.

Enfin, la panne la plus basse *q* répondant aux lucarnes est aussi soutenue par les aisseliers courbes *u* compris dans les pans, et elles ont leurs arcs-boutants *l* qui s'appuient sur l'extrados du grand arc.

Nous n'avons pas marqué ces arcs-boutants sur la fig. 1, pour ne pas masquer la décoration de la ferme; nous pensons d'ailleurs que les arcs-boutants *l* et *x* ont été mis après coup, lorsqu'on s'est aperçu que, soit par défaut de force, soit par vétusté, les pannes fléchissaient sous le poids de la couverture qui était originairement en plomb, qui a été remplacée par d'*abjctes* ardoises.

M. Pugin présume que les fenêtres ou lucarnes n'existaient pas originairement, qu'elles ont été faites pour jeter du jour dans la deuxième partie de la charpente qui était trop obscure, et qu'on ne distinguait point.

Nous joignons à ces deux projections des détails à une échelle quadruple, des parties des remplissages en menuiserie, des différents tympans que forment les combinaisons des pièces principales de la charpente.

Les fig. 2 et 3 sont les projections de l'un des anges sculptés en bois qui terminent les tasseaux *e*, et forment la plus saillante décoration de la salle.

Chaque ange tient un écu aux armes de France et d'Angleterre, qui étaient alors celles du roi qui avait fait construire ce monument.

La fig. 9 est une coupe horizontale de l'aiguille *h* par un plan suivant la ligne 1-2, fig. 7.

La fig. 4 est le dessin du remplissage découpé du tympan entre la panne *z* et l'arc *y* qui la soutient, fig. 1.

La fig. 5 montre le remplissage découpé à jour du tympan, entre le grand arc *m* et l'arc *p*, fig. 7.

La fig. 10 est un des petits arceaux que soutiennent les colonnettes du grand panneau, au-dessous de l'entrait *k*.

La fig. 8 est la coupe horizontale d'une colonnette par un plan suivant la ligne 3-4, fig. 7.

Toutes les pièces sont décorées de moulures et de nervures qui imitent celles en usage sur les constructions gothiques en pierre de taille; mais elles ont ici une délicatesse que le bois seul pouvait permettre.

§ 2. *Hampton Court Palace.*

Hampton Court, dans le comté de Kent, n'a été qu'une propriété ordinaire jusqu'au commencement du règne de Henri VIII, époque où le cardinal Wolsey commença à y construire, pour lui et sa nombreuse suite, une habitation plus étendue. Sa somptuosité ayant excité la jalousie du roi, Wolsey la lui céda vers l'année 1525; les constructions y furent continuées, et elle fut pendant plusieurs années une résidence royale favorite (1). En 1647, Hampton Court fut vendu par le Parlement; Cromwell l'acheta pour y résider, et plus tard ce domaine revint à la couronne. Le comble de la grande salle est signalé comme le plus richement décoré, entre ceux du même genre (2); mais celui de Westminster Hall lui est fort supérieur en grandeur.

La fig. 15 de la même pl. C représente une ferme de cette élégante

(1) Le silence solennel des cours spacieuses de Hampton Court Palace et de ses chambres d'apparat, aujourd'hui inhabitées, rappellent, dit Pugin, la série des curieux événements qui s'y sont passés.

C'est aussi dans ce palais qu'eut lieu la scène de la boucle de cheveux enlevée, avec tous ses incidents comiques, si habilement esquissés par Pope.

Charles I^{er} y fut détenu par l'armée parlementaire.

(2) Le comble de l'église du Christ, à Oxford, bâtie par le cardinal Wolsey quelques années avant Hampton Court, est du même genre et beaucoup plus simple dans sa décoration; il n'est cependant pas de beaucoup inférieur en beauté.

La grande salle de Hampton Court a 106 pieds de long, 40 de large, 45 de haut;

L'église du Christ, à Oxford 115 40 50

La salle du collège de la Trinité, à Cambridge. 100 40 50

Cette dernière est bâtie sur le modèle de celle du Christ, mais encore plus simple de décoration.

et riche charpente. Elle prend naissance, comme celle de Westminster Hall, sur des corbeaux de pierre en forme de culs-de-lampe.

La figure 16 est une coupe du comble suivant la longueur de la salle.

La forme extérieure est celle dite brisée; il paraît que ce comble est le premier pour lequel elle a été employée en Angleterre. A l'intérieur, le système de combinaison est à peu près le même que celui du comble de Westminster Hall, sinon que, la portée étant moins grande, on n'y a point fait usage des grands arcs et qu'on y a prodigué les moyens de décoration (1).

Le cintre p est une ogive surbaissée; il prend naissance encore sur les consoles formées par la combinaison des tasseaux e , des aiguilles h , des demi-arcs g et des montants j . Vu l'écartement des fermes, elles sont entretenues à leur distance et dans leur position verticale par des liernes m, n , et un sous-faîte k . Les liernes m sont soutenues par des courbes qui forment avec elles, dans le sens de la longueur du toit, des fermettes dont la combinaison des arcs est semblable à celle des grandes fermes, fig. 15. A l'égard des liernes n et du sous-faîte k , ils sont soutenus par les véritables pendentifs formés au-dessous d'elles par deux arcs h en ogive, et un poinçon intermédiaire p et p' . On a marqué, sur la face verticale du sous-faîte, les assemblages des chevrons intérieurs et arqués qui viennent s'y appuyer en formant des compartiments qui sont projetés entre les liernes n et le sous-faîte k , fig. 16.

La panne o est soutenue par un rang de petits pilastres; la deuxième panne g se trouve appuyée par un arc qui a pour portée, dans le sens de la longueur du comble, l'écartement des fermes, et qui prend naissance sur le tasseau e .

La panne r est soutenue par de petits arcs-boutants s , sur les liernes m .

Les combinaisons de ces arcs et arceaux forment une quantité de pendentifs qui sont terminés par des culs-de-lampe, produisant par leur ensemble le coup d'œil le plus hardi, le plus riche et le plus élégant. Les culs-de-lampe, qui sont tous en bois, sont détaillés sur une échelle quadruple dans les figures suivantes :

Fig. 11, cul-de-lampe e' des extrémités des tasseaux e .

Fig. 12, cul-de-lampe v du poinçon et pendentif sous les pannes.

Fig. 17, cul-de-lampe x du pendentif de la fermette sous la lierne m .

Fig. 13 et 14, cul-de-lampe z en pierre, formant les corbeaux des naissances des fermes.

Les murs de cet édifice sont garnis de contre-forts et arcs-boutants,

(1) La portée des fermes de Westminster Hall est de 66 pieds 6 pouces (20^m, 116).

que le dessin ne marque pas. Cette salle n'est éclairée que par les fenêtres latérales percées dans les murs, et par les grands vitraux des murs de pignons des deux extrémités.

Jadis les panneaux de remplissage étaient peints en bleu, les parties saillantes laissaient voir la couleur naturelle du bois de chêne; dans une dernière restauration, le tout a été repeint également en bleu et en couleur de bois de chêne; mais M. Pugin remarque que les nuances que l'on a choisies sont trop crues et trop claires, et que la couleur brune imitant le noyer de la charpente de l'église du Christ, relevée par la dorure des ornements, est préférable.

§ 3. *Comble de Crosby Hall.*

Vers l'an 1470, M. John Crosby, riche marchand de Londres, fit construire une maison magnifique, qui a conservé depuis le nom de Crosby Palace. Richard, duc de Gloucester, y demeurait pendant le temps que les enfants d'Édouard étaient détenus à la Tour de Londres sous sa protection. On ignore qui lui succéda dans l'occupation de ce palais après qu'il fut monté sur le trône; mais il paraît que cette somptueuse habitation a été longtemps une possession royale. La reine Élisabeth y a logé des ambassadeurs; par la suite, elle a servi au culte des dissidents, et naguère les deux grandes salles, seuls restes des premières constructions, servaient de magasins pour des emballeurs; elles sont aujourd'hui cachées par des bâtiments modernes qui les environnent.

La figure 3 de la planche CI est une coupe en travers du bâtiment par un plan vertical qui fait voir un peu plus que la moitié d'une des fermes du comble de la grande salle de Crosby Palace.

La figure 4 est une coupe longitudinale par un plan vertical passant par le milieu de la largeur du bâtiment.

Le caractère principal de ce comble est de présenter, au-dessous des pièces qui soutiennent le toit sous une inclinaison de 45°, une voûte en boiseries de bois de chêne admirablement bien trevaillées, qui s'étend sur toute la largeur de la salle, et d'où descendent trois rangs de pendentifs formés par autant de poinçons contre chacun desquels quatre arcs viennent se raccorder par leurs naissances. De telle sorte que la charpente du toit, qui s'appuie sur les arcs des fermes principales, est entièrement cachée; cette partie supérieure du comble n'a, au surplus, rien de remarquable.

Lorsque l'on considère cette singulière voûte, sa charpente paraît formée de fermes transversales qui sont les fermes principales, et de trois fermes

longitudinales à peu près égales, et dont une, celle du milieu, répond à la ferme sous-faite.

C'est aux rencontres de ces fermes que se trouvent, comme pièces communes, les poinçons dont nous venons de parler, et qui sont les principales pièces des pendentifs. Les arcs qui s'y rattachent n'ayant pour objet que de les maintenir verticaux et de soutenir, au moyen des appuis qu'ils y trouvent, les frises servant à diviser la surface de la voûte en grands panneaux d'assemblage en menuiserie.

Les figures 1 et 3, que nous donnons de cette admirable composition, sont suffisamment détaillées pour qu'il ne soit pas nécessaire d'une plus ample description.

La figure 4 est la projection, vue de face, d'un des corbeaux en pierre *A*, fig. 3, scellés dans les murs et sur lesquels la charpente de la voûte prend naissance au niveau des impostes des croisées.

La figure 5 est sa projection horizontale, elle représente, à droite, une coupe horizontale, suivant *p q*, fig. 4; et à gauche, une coupe horizontale, suivant *z y*. La ligne *v u* marque le parement du mur dans lequel le corbeau est scellé.

La figure 2 est une projection verticale d'un des culs-de-lampe *B* qui terminent les pendentifs de la voûte.

La figure 6 présente d'un côté, à droite, le plan du dessus de ces culs-de-lampe avec la coupe horizontale suivant les lignes *m n* des arcs qui y prennent naissance; à gauche est la coupe horizontale suivant la ligne *z y*.

La figure 8 est une projection verticale en élévation de la corniche qui règne sur les murs et qui couronne les encadrements des croisées. Les espaces qui se trouvent entre les frises du plafond et les arcs des pendentifs sont remplis de découpures en menuiserie percées à jour.

L'intérieur de cette salle a 27 pieds (8^m,23) de large, sur 69 pieds (21^m,03) de longueur; sa hauteur est de 38 pieds (11^m,58). Elle est éclairée par des fenêtres percées dans les murs latéraux, à une assez grande hauteur au-dessus du sol. L'architecte avait élevé une lanterne au-dessus de la voûte pour donner issue à la fumée des trépieds qu'on allumait au milieu de la salle, avant l'invention des poêles et des cheminées; mais il paraît que cette lanterne n'y est pas restée longtemps. Quoique salie par la poussière et la fumée, cette charpente a un aspect de dignité qui étonne. Elle servait jadis pour de grandes réunions et pour des festins; on y remarquait, il y a peu d'années, une tribune qui en occupait toute la largeur à l'un des bouts, et qu'on croit avoir été construite, au-dessus d'un corridor de service, pour y placer un orchestre. Aujourd'hui, Crosby Hall est divisée, dans sa hauteur, par un plancher pour l'usage des magasins,

ce qui nuit considérablement à l'aspect de cette admirable charpente, qui a besoin d'être élevée au-dessus des spectateurs pour produire un bel effet.

§ 4. *Chambre du Conseil du palais de Crosby.*

Dans un des angles de la grande salle dont nous venons de parler, une porte donne entrée dans une pièce plus petite, appelée la *Chambre du Conseil* (1). La fig. 12, pl. CI, est une coupe en travers d'une partie de la charpente, au-dessous de laquelle une voûte en boiserie très-surbaissée forme le plafond de cette pièce. A l'exception de l'élégante décoration de cette voûte, la construction de sa charpente se rapproche du système dont nous avons fait mention dans le premier article du chapitre précédent. La figure 13 est une coupe longitudinale sur laquelle le plafond est projeté avec les élégants ornements qui le décorent. Les fermes principales, entre lesquelles sont des fermettes de remplissage, portent les arcs principaux qui partagent le plafond en plusieurs zones égales dans la longueur de la chambre. Ces zones sont ensuite divisées en deux rangs de huit caissons chacune par des nervures; des ornements gothiques, artistement contournés, se détachent en relief sur le fond de chaque caisson.

Ces sortes de panneaux en menuiserie sont cloués sur les courbes qui suivent le cintre de la voûte entre les fermes; le tout est rehaussé de dorures.

La figure 7 est un détail, sur une échelle triple, des ornements des arcs sous les maîtresses fermes.

La figure 9 présente le dessin des ornements du quart de l'un des caissons de la voûte.

La fig 10 est l'élévation d'un des pendentifs ou culs-de-lampe sur lesquels les arcs prennent naissance. Ces culs-de-lampe répondent à la corniche qui suit le contour de la salle. L'un et l'autre sont représentés en élévation, fig. 10, et la corniche est profilée, fig. 11, avec les feuillages verticaux qui la couronnent.

La figure 14 est une section d'un des arcs non compris l'épaisseur des petits pendentifs qui garnissent sa courbure.

La charpente de l'église du Christ, à Oxford, est du même genre que

(1) Une décoration, représentant cette chambre, fut peinte, il y a peu d'années, pour la représentation de la tragédie de Richard III sur le théâtre de Drury Lane, à Londres.

celle de Hampton Court; elle est cependant moins riche de décoration et ses arcs sont surbaissés (1).

La charpente de la grande salle d'Eltham Palace, seul reste qui ait échappé aux dévastations et aux spoliations de cette magnifique habitation royale, n'a été conservée que parce que ce bâtiment a pu servir de grange; les fermes de cette charpente ont beaucoup de ressemblance avec celles de l'église du Christ; elle est cependant inférieure sous le rapport de la beauté; elle supporte un toit plus aigu, et ses fermes ne sont pas réunies par d'autres fermes longitudinales (2), mais beaucoup moins riches, et elle n'est composée que de fermes parallèles dans lesquelles l'arc du milieu est très-surbaissé.

La charpente du comble de *Middle Temple Hall* a quelque ressemblance, dans sa forme générale, avec celle de Crosby Hall, mais elle a quatre pendentifs sur la largeur de chaque ferme (3).

Il existe plusieurs autres charpentes du même genre en Angleterre (4); il suffit que nous ayons décrit les plus belles et indiqué, après celles-ci, les plus importantes.

§ 5. Plafond de la Chambre dorée du Palais de Justice à Paris.

La chambre occupée aujourd'hui de la Cour de cassation (5) était autrefois la Chambre dorée, nom qui lui avait été donné à cause des dorures qui la décoraient; elle fut originairement construite du temps de saint Louis.

La voûte qui la couvrait ayant menacé d'un éboulement, elle fut démolie (6), et l'on croit que Fra Giovanni Giocondo, architecte, que Louis XII fit venir d'Italie, et qui avait bâti le pont Saint-Michel, le château de

(1) On en trouve une esquisse dans le *Penny Magazine*, année 1835, n° 182, p. 4.

(2) *Idem*, 1832, n° 23, p. 263.

(3) *Idem*, 1835, n° 208, p. 249.

(4) D'anciennes gravures qu'on montrait autrefois dans des optiques représentent la galerie royale de Copenhague: il paraîtrait, d'après ces perspectives grossières, que le comble de cette galerie est à pendentifs. Dans chaque ferme, un arc principal en plein cintre, ayant un diamètre égal aux deux tiers de la largeur de la salle, serait supporté par de grandes consoles cintrées prenant naissance sur les murs. Mais cette charpente serait revêtue intérieurement de boiseries ou de plafonnages, le tout peint et enrichi d'ornements divers.

(5) Cette salle a une issue dans la salle des Pas-Perdus, vis-à-vis la galerie des marchands.

(6) Monstrelet prétend (tome III, éd. de 1572, p. 402) qu'au mois de juin 1464, un avocat ayant répété dans ses plaidoiries les blasphèmes dont l'accusé s'était rendu coupable, la voûte fut ébranlée et qu'elle lança des éclats de pierre sur l'assemblée. Il ajoute

Gaillon et la Cour des comptes, fut chargé de décorer la grand'chambre sur nouveaux frais. C'est donc à lui qu'on attribue le plafond en pendentifs de la Chambre dorée, qui rappelle ceux des charpentes que nous avons décrites dans les articles précédents.

Fournel décrit cette salle dans son *Histoire des Avocats*; Sauval en parle aussi dans ses *Antiquités de Paris*; mais la description la plus complète et la plus exacte est une vue perspective qu'en donne une gravure qui représente le lit de justice tenu pour la première fois par le roi Louis XV, en son Parlement, le 12 septembre 1715 (1); cette salle a 38 pieds de largeur sur 67 pieds de longueur (12^m,35 sur 21^m,78).

Nous avons représenté, fig. 5 de la pl. XCIX, une coupe de ce plafond fort remarquable, prise en travers de la salle sur la ligne *AB* du plan.

La figure 6 est le plan ou la projection horizontale du plafond vu en dessous.

La grande portée des poutres a déterminé l'emploi des pendentifs qui, comme des armatures renversées, en augmentent la force.

On voit en effet, dans la figure 7, où nous avons représenté, sur une échelle double, le détail de la construction présumée de ces pendentifs, que le poinçon *a*, assemblé dans le dessous de la poutre *d* par un tenon carré fort court, y est retenu par des bandes de fer, et que les aisseliers *b, b*, gabariés en dessous en forme d'arcs et liés à la poutre et au poinçon par des boulons traversant leurs assemblages à embrèvements, forment une véritable armature; telle que, supposant la poutre portée par des murs, son milieu répondant au poinçon ne peut céder, de *m* en *n*, sous la charge qui la ferait fléchir au point *q*, si elle n'était pas armée de ce pendentif, puisque les aisseliers retiennent le poinçon comme attaché aux points *m* et *n* quoiqu'il soit pressé par la poutre. On voit donc que, par cette disposition, la force de la poutre est celle qu'elle aurait si elle était raccourcie de toute l'étendue que le pendentif occupe sous elle, c'est-à-dire de la longueur *m n*. On voit encore qu'en multipliant les pendentifs sur la longueur d'une poutre, on est maître de distribuer convenablement les points où les ruptures pourraient avoir lieu; et de donner en ces points une épaisseur capable de résister à ces ruptures, mais qui seraient insuffisantes si l'on n'avait pas recours à cet artifice.

que, le même événement s'étant répété quelques jours après dans les mêmes circonstances, la terreur fit subitement évacuer l'audience, et qu'on prit la résolution de faire démolir la voûte et de la remplacer par un plafond.

(1) Cette gravure, assez rare, se trouve dans la *Topographie de Paris*, au cabinet des estampes de la Bibliothèque du Roi, à Paris; elle est de Deponilly, d'après le dessin de F. de la Monce. Elle a environ 0^m,59 de largeur sur 0^m,454 de hauteur.

La figure 8 est une coupe, par un plan horizontal, suivant les lignes xy de la figure 7; et la figure 9 est une coupe horizontale suivant la ligne vz . Les épaisseurs des revêtements en boiserie ne sont pas marquées dans ces deux figures.

La figure 10 est une coupe horizontale au niveau du dessus d'un chapiteau où l'on voit les coupes des panneaux de menuiserie et des arêtiers des voûtes formées par les panneaux cintrés.

Dans la construction du plancher portant les pendentifs de la salle dorée, les poutres étaient armées de trois pendentifs chacune; des demi-pendentifs se rattachaient aux murs et formaient une sorte d'encorbellement qui raccourcissait encore la portée des poutres.

Pour entretenir dans une position verticale chacune de ces espèces de fermes, des entretoises horizontales, parallèles à la longueur de la salle, s'assemblaient dans les poutres aux mêmes points de leur longueur que les poinçons, et des aisseliers cintrés en dessous et égaux à ceux assemblés dans la poutre saisissaient les poinçons. Chaque pendentif était terminé par un cul-de-lampe formant une sorte de chapiteau dans lequel les volutes sont remplacées par des bustes de femmes ayant des ailes au lieu de bras, représentant probablement l'allégorie de Némésis. Des boiseries assemblées en panneaux cintrés aux arcs des pendentifs formaient des portions de berceaux qui se rencontraient à la manière des voûtes d'arêtes; le milieu de chaque plafond se trouvait décoré d'une large rosace. Toute cette construction était en bois de chêne, et les filets, les moulures et les ornements étaient dorés; une riche tapisserie couvrait les murs.

Ce beau plafond a été démoli en 1722 pour lui substituer des décorations qui étaient du goût de cette époque.

Le plafond d'un café décoré vers 1840, au coin du boulevard et de la rue de la Chaussée-d'Antin, à Paris, était une imitation du plafond de la Chambre dorée, sur de plus petites dimensions.

CHAPITRE XXVII.

SYSTÈME EN PLANCHES DE CHAMP.

I.

INVENTION DE PHILIBERT DELORME.

§ 1. *Anciennes charpentes en planches.*

La belle invention de Philibert Delorme (1), que nous allons bientôt décrire, est restée dans le plus profond oubli pendant deux siècles; après la mort de ce célèbre architecte, aucune charpente ne fut exécutée suivant son système, et ce n'est que quelques années après que MM. Legrand et Molino en eurent fait une heureuse application à la coupole de la Halle au blé de Paris, que ce mode de construction eut une très-grande vogue; ce qui n'empêcha pas que plusieurs personnes cherchèrent à diminuer le mérite de l'invention, en rappelant que diverses charpentes avaient été construites au moyen d'arcs en planches clouées les unes sur les autres, bien antérieurement à Philibert Delorme. C'est ainsi qu'on répéta, d'après ce que dit Sébastien Serlio, mort en France vers 1552 (liv. VII, chap. xli, dans son *Traité d'architecture*), « qu'ayant été chargé, par François I^{er}, de faire quelques réparations au palais des Tournelles il y trouva des voûtes formées de courbes en planches recouvertes d'un enduit de plâtre fort dur qui avaient plus de deux cents ans d'ancienneté. »

On cite aussi la partie hémisphérique de la coupole de l'église Saint-Marc à Venise, qui est composée de courbes en fortes planches clouées

(1) Philibert Delorme, Lyonnais, architecte, conseiller et aumônier ordinaire du roi Henri II, abbé de Saint-Eloi-lez-Noyon, et de Saint-Georges-lez-Angers, né à Lyon, au commencement du xvi^e siècle, et mort à Paris le 9 février 1577, a publié, en 1561, son *Traité sur la manière de bien bâtir et à petits frais*, qui a été depuis compris dans ses œuvres (in-fol., Paris, 1625, Rome, 1628); dont il forme les x^e et xi^e livres, sous le titre de *Nouvelles inventions*.

qui forment chevrons et qui sont reliées par quatre rangs de liernes dans lesquelles elles sont entaillées. L'église de Saint-Marc ayant été commencée en 976 et terminée en 1085, la charpente dont il s'agit a précédé de cinq cents ans l'intervention de Philibert Delorme.

On cite encore la coupole de l'église *della Salute*, également à Venise, qui est formée de courbes composées chacune de quatre épaisseurs de planches posées en liaison les unes contre les autres et unies ensemble avec des clous; et l'on affirme enfin que beaucoup de combles bien plus anciens que Philibert Delorme sont construits suivant cette méthode. On ne saurait donc nier que Philibert Delorme a pu trouver l'idée de ce genre de charpente dans d'anciennes constructions, notamment dans la voute que Serlio, son contemporain, découvrit lorsqu'il répara le palais des Tournelles, dans le voisinage duquel Philibert Delorme demeurait. Mais ce n'est pas dans l'emploi des planches posées de champ qu'il gît l'intervention, c'est dans leur assemblage, et dans la liaison vraiment ingénieuse des hémicycles par des liernes et des clefs qu'il faut la voir, et l'on ne peut s'empêcher de l'admirer à cause de la simplicité de ce genre de construction dans lequel il n'entre aucun clou ni aucun fer.

Rondelet, page 152, de son *Art de bâtir*, exagère la cherté de ce genre de charpente, d'où il conclut qu'il n'y a point d'économie à préférer les combles en planches aux combles en pièces de bois qu'il regarde comme étant plus solides, plus durables, et moins dangereux en cas d'incendie.

Nous ferons remarquer que, dans le rapport fait à la Société d'encouragement sur mon système de charpente en madriers courbés sur leur plat, qui fait l'objet du chapitre suivant, M. Vallot, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a fait remarquer que Rondelet s'est trompé lorsqu'il a prétendu que les bois débités en planches coûtent le double des bois de charpente; c'est une erreur dont tous les bordereaux, marchés et adjudications font foi. Rondelet est au surplus en contradiction sur ce point avec lui-même, car dans la comparaison qu'il fait, page 149, de la charpente du dôme de l'église *della Salute* avec celle de l'hôtel des Invalides pour prouver l'avantage qu'il y aurait eu à employer des planches dans la construction du dôme des Invalides, il assigne au cube des bois débités en planches le même prix qu'à ceux de charpente.

Il ne reste donc, comme cause d'augmentation de la dépense dans les charpentes de Philibert Delorme, qu'un peu plus de main-d'œuvre, et un cube de bois un peu plus fort; mais jamais Philibert Delorme n'a prétendu qu'on dût donner une préférence exclusive à son système; il ne l'a proposé que pour le cas où l'on a à sa disposition des planches de peu de valeur, et même de ces bois qu'on employait de son temps pour soutenir

le charbon que l'on apportait à Paris dans des bateaux, ou enfin rien que du bois de chauffage, de quelque espèce que ce soit, refendu à la scie. On voit que quoique la construction suivant le procédé de Philibert Delorme puisse être plus chère, encore est-elle préférable à tout autre système, quand on n'a point de grands bois à sa disposition. Ce système avait donc, à l'époque où il a été inventé, le grand avantage de fournir un moyen de construire, rien qu'avec de petits bois, des combles d'une grande portée; il était encore, il y a peu d'années, le seul qui permit de supprimer les entrails, qui sont toujours d'un effet désagréable, et qui nuisent aux décorations intérieures des espaces couverts.

§ 2. *Système de Philibert Delorme. — Combles en boiseries.*

Le système de Philibert Delorme est composé d'ares ou hémicycles (demi-cercles), formés de planches, et substitués aux fermes des charpentes du moyen âge.

Nous donnons, pl. CH, les détails de ce genre de construction.

La figure 1 représente un hémicycle composé de deux épaisseurs de planches. Dans chaque épaisseur, les planches sont posées bout à bout, et leurs joints ou *commissures* sont en coupes tendantes au centre. Dans chaque hémicycle, les joints d'une épaisseur de planches répondent au milieu de la longueur des planches de l'autre épaisseur, et chaque planche n'a que 1^m,30 environ de longueur sur 0^m,22 de largeur, l'épaisseur des planches est 0^m027.

Les hémicycles sont écartés de 0^m,66; ils portent sur des sablières qui sont établies sur le couronnement des murs, comme nous les avons représentées à gauche, sur la figure 1, ou au-dessous des corniches extérieures du bâtiment, comme l'une d'elles est profilée à droite, sur la même figure. Dans l'une et l'autre disposition, des mortaises, creusées dans ces sablières, reçoivent les tenons ménagés aux naissances des hémicycles. Ces tenons laissent des épaulements d'environ 0^m,027 sur chaque bord des hémicycles.

La figure 3 représente le profil d'un des murs, avec la coupe d'une sablière sur laquelle on voit le profil de la mortaise qui doit recevoir le tenon de la naissance d'un hémicycle dont le profil est figuré au-dessus.

Tous les hémicycles ont un même nombre de joints qui sont dans tous situés aux mêmes points de leur développement, et par conséquent aux mêmes niveaux. Les hémicycles sont tous traversés précisément dans les joints par des liernes de 0^m,027 d'épaisseur sur environ 0^m,408 de largeur; des clefs de 0^m,027 d'épaisseur, 0^m,040 de large et d'une longueur à peu

près égale à la largeur des planches traversent les liernes. Elles servent à maintenir les hémicycles dans des plans verticaux et aux écartements égaux de 0^m,65, en même temps qu'elles serrent dans chaque hémicycle les planches dans le sens de leur épaisseur.

Vu la petitesse de l'échelle, les clefs ne sont pas marquées dans les figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6; mais elles sont figurées dans les détails que nous donnons, fig. 8 et 9, qui sont sur une échelle double. La fig. 8 est, en projection verticale, une partie *m n* d'un hémicycle; la fig. 9 est la projection horizontale des deux parties d'hémicycles *m n*, *m' n'*, correspondant à la projection verticale, fig. 8. Ces parties d'hémicycles *m n*, *m' n'*, sont traversées par des liernes *a*, *c*, *i*, lesquelles sont elles-mêmes traversées par les clefs *b*, *b*.

La lierne *c* est prolongée dans la fig. 9, pour faire voir les mortaises dont cette lierne est percée, comme toutes les autres, pour recevoir les clefs aux emplacements *f*, *g*, répondant à des hémicycles ponctués qui ne sont point placés.

Le bois laissé entre les mortaises doit avoir un peu moins de longueur que l'épaisseur de deux planches, afin que les clefs remplissent bien leur office; quelquefois même on supprime cette portion de bois pour ne faire qu'une mortaise au lieu de deux, ce qui diminue le travail.

§ 3. *Comble en tiers point ou ogive.*

Il paraît que lorsque Philibert Delorme publia pour la première fois sa nouvelle invention, des constructeurs maladroits, voulant en faire l'application à des combles d'une largeur trop restreinte, et y employer les tuiles et l'ardoise des mêmes échantillons que sur les combles plans, se hâtèrent de décrier cette invention, disant que la couverture *entre-bâillait*; qu'elle ne pouvait joindre, laissant en dessous des ouvertures dans lesquelles le vent portait la pluie ou la neige. Philibert, pour repousser ce reproche fait à sa belle invention, remarque que si on veut l'appliquer à des combles de petites dimensions, il faut employer des tuiles ou des ardoises de plus petites dimensions, et qu'il y aurait encore de l'économie à se servir de toutes les pièces d'ardoises, quand même elles n'auraient que la moitié de la longueur ordinaire, et que, quant à la tuile, la plus petite serait la meilleure; il ajoute même qu'on pourrait en mouler exprès. Nous supposons qu'il entendait qu'alors on pourrait les cintrer convenablement suivant la courbure du toit. Il propose même un excellent expédient pour que sur un bâtiment étroit, dont la charpente doit présenter intérieurement la

forme d'un berceau, la surface extérieure n'aît pas une courbure aussi grande, et qu'elle soit telle que les tuiles et ardoises ordinaires puissent s'y appliquer sans *entre-bâillement*.

Philibert Delorme propose, dans le cas dont il s'agit, de faire les combles cylindriques en dedans, et en *tiers-point* en dehors, comme nous en avons représenté un hémicycle, fig. 10 de la planche CII. Par ce moyen le rayon des arcs extérieurs du comble se trouvant beaucoup plus grand, la courbure est moindre, les tuiles et ardoises peuvent y être appliquées, et le défaut de *l'entre-bâillement* se trouve considérablement diminué. Nous verrons plus loin qu'on l'a fait disparaître entièrement, en formant au-dessus des hémicycles des toits plans.

Les assemblages des hémicycles de ce comble et leurs joints sont exactement les mêmes, si ce n'est que chaque hémicycle intérieur est lié avec les arcs extérieurs par des moises en planches qui sont traversées par les liernes des arcs et sont serrées par les mêmes clefs.

Philibert Delorme a donné plusieurs profils de ce mode de construction des combles; il a fait remarquer qu'entre les hémicycles qui forment la voûte intérieure, et les arcs du toit, on peut, en supprimant les moises, faire des greniers et galetas utiles, il a même remarqué que, dans l'intérieur des appartements, les intervalles des hémicycles peuvent, au moyen de panneaux de menuiserie, être convertis en armoires.

§ 4. *Croupe droite.*

La figure 2, pl. CII, est la projection horizontale d'un comble formant une croupe droite construite avec des hémicycles suivant le système de Philibert Delorme, comme celui représenté, fig. 1, qui est une coupe de ce même comble suivant la ligne *a b* du plan fig. 2.

Les parties des hémicycles répondant aux arêtiers, tant sur les longs pans que sur le pan de croupe, sont espacées de 0^m,65; et, comme les empanons des charpentes ordinaires, elles sont assemblées à tenons et mortaises dans les demi-hémicycles qui forment les arêtiers et qui s'assemblent dans le poinçon *F* au centre duquel ils sont dirigés.

La figure 6 est une projection verticale de la sommité de l'hémicycle de long pan répondant au poinçon à huit pans que cet hémicycle traverse sans interruption. Ce poinçon reçoit les assemblages à tenons du demi-hémicycle de croupe et des deux demi-hémicycles des arêtiers. La fig. 7 fait voir, en projection horizontale, cet assemblage par-dessous.

Les figures 4 et 5 ont pour objet de montrer des planches d'hémicycles désassemblées, et de faire voir que dans ce premier système, Phili-

bert en employant des liernes n'a pas eu pour objet de lier les planches d'un même hémicycle les unes avec les autres, puisque chaque planche n'est traversée que par une seule lierne. Ces liernes empêchent seulement les planches de glisser sur leurs joints à bouts; et au moyen des clefs elles les pressent à plat les unes contre les autres sans les forcer de se serrer en joints, ni même sans retenir les joints en contact parfait; et c'est seulement le poids de la charpente qui serre les joints d'abouts des planches, lesquelles sont dès lors employées dans ce système comme les voussoirs des voûtes en pierre. Seulement, comme nous venons de le dire, les liernes empêchent le glissement dans les joints.

Pour raccorder les égouts des toits avec les bords des murs ou avec les corniches du bâtiment, on cloue sur les hémicycles des bouts de coyaux auxquels on donne l'épaisseur de deux planches, on peut même les former de deux bouts de planches réunis à plat, ou en clouer une sur chacune des faces des hémicycles. Ces coyaux sont ponctués des deux côtés de la figure 1; il en est de même à l'égard de la sommité du comble, qui serait horizontal si l'on n'y ajoutait pas de petits chevrons pour que le lattis du toit forme deux pans qui se coupent suivant l'arête de faitage afin que l'eau ne s'y arrête pas.

La figure 21 est une projection de la ferme d'arêtier DE . Cette projection est construite par les mêmes procédés que nous avons indiqués pour trouver les courbes d'intersection des surfaces de croupe et de long pan; ces courbes sont contenues dans les plans verticaux des arêtiers. Les charpentiers donnent à ces courbes le nom de *courbes rallongées*, parce que les ordonnées verticales qui sont égales à celles de la courbe principale BCD , fig. 1, répondent à des *abscisses rallongées* dans le rapport de FE à FD . Nous sommes déjà entré dans de grands détails au sujet de ces sortes de constructions graphiques de courbes, pages 3 et 4; il suffit de les rappeler, en renouvelant la remarque que les courbes rallongées sont toujours des ellipses, lorsque les courbes principales sont des cercles ou des ellipses.

La figure 21, qui est une projection d'un demi-hémicycle d'arêtier, présente la face du côté de la croupe, si nous considérons cette figure comme représentant l'hémicycle de l'arêtier DF . Cette même figure présente au contraire la face répondant au long pan, si nous supposons qu'elle représente l'hémicycle de l'arêtier BF , fig. 2.

Nous avons marqué sur la figure 21, les occupations des portions d'hémicycles formant empanons, et les mortaises qui reçoivent leurs tenons.

Les demi-hémicycles des arêtiers étant surchargés par les empanons, Philibert Delorme les a composés de trois épaisseurs de planches.

Les tenons des portions d'hémicycles formant empanons, ne traversent qu'une seule épaisseur de planches, de façon que la planche qui est dans le milieu de l'épaisseur de l'hémicycle arêtier n'est point percée, si ce n'est par les liernes qui servent à former la liaison entre les longs pans et le pan de croupe et à assembler les planches des demi-hémicycles arêtiens.

La charge des longs pans et du pan de croupe est suffisante pour maintenir leurs assemblages dans les hémicycles arêtiens. Cependant il est bon, pour assurer la stabilité de ces assemblages, et lier les longs pans avec le pan de croupe, de faire traverser les hémicycles des arêtiens par quelques liernes, alternativement et avec clefs, comme je l'ai indiqué en x et y , fig. 2.

Nous avons tracé séparément, fig. 20, une portion du même hémicycle d'arêtier, seulement avec les mortaises des liernes, afin qu'on puisse les mieux reconnaître et les distinguer de celles destinées à recevoir les assemblages des empanons.

Nous devons faire remarquer qu'il est fort rare aujourd'hui de faire des charpentes de cette sorte avec des croupes. Elles sont ordinairement appliquées à des bâtiments dont la grande largeur et la destination font qu'on préfère les terminer par des pignons en maçonnerie.

§ 5. *Comble du château de la Muette.*

Dans la construction du grand comble du château de la Muette, près Paris, Philibert Delorme a beaucoup perfectionné les détails de son système; à la vérité, la portée de ce comble est de 19^m,49, et il fallait nécessairement augmenter la force des assemblages.

Nous donnons, fig. 11, 12, 13, 14, 15 et 16, pl. CII, les détails du système perfectionné; nous nous dispensons de tracer un hémicycle entier, parce qu'il est aisé d'appliquer aux figures que nous avons précédemment décrites, les détails que nous allons donner, et qui sont dessinés sur une échelle double.

La figure 12 représente un fragment d'hémicycle a , vu comme celui de la figure 1. La figure 14 est une projection horizontale, comprenant deux hémicycles a , a' .

La figure 11 est une coupe par un plan vertical perpendiculaire à ces deux projections, et dont la trace est la ligne xy .

Deux liernes b , b' croisent les hémicycles qui s'y assemblent par entailles à mi-bois, c'est-à-dire que ces liernes sont entaillées de la moitié de leur épaisseur; les hémicycles sont entaillées de la même quantité

tellement que les liernes affleurent les hémicycles tant à l'intrados qu'à l'extrados.

Les planches des hémicycles *a a'* sont serrées par des clefs *c* qui traversent les liernes des deux bords des arcs, et ces liernes sont serrées par des clavettes *d* qui traversent les clefs *c* dans les bouts qui dépassent les liernes *b*.

La fig. 16 représente un fragment d'une lierne *b* de la fig. 14, vue par la face où sont les entailles d'assemblage avec les hémicycles. Ces entailles y sont marquées ainsi que les mortaises, dans lesquelles passent les clefs *c*.

La figure 15 est le même fragment de la lierne *b* vue par le côté, on y voit les profils des entailles.

La figure 13 est une de ces clefs *c* vue dans le même sens que celles qui sont représentées dans la figure 11.

La figure 23 représente un fragment d'une des planches d'hémicycles *a* ou *a'* avec les trous des chevilles que nous n'avons point marqués sur la figure 12, pour éviter la confusion.

On conçoit que la combinaison adoptée par Philibert Delorme pour cette charpente, ajoute une grande force à son système d'assemblage.

La figure 17 est une projection verticale, et la figure 18 une projection horizontale de deux parties d'hémicycles d'une construction plus simple, que Philibert Delorme conseille d'adopter pour les combles de moyenne portée.

Dans la construction du grand comble de la Muette dont nous venons de parler, on trouve quelques liernes simples; elles sont traversées par des clefs qui ne répondent point à des joints, comme dans la figure 17; elles ont pour objet de consolider les hémicycles en empêchant les planches de glisser.

La grande portée, dans ces sortes de charpentes, produit une perfection dans le système, en ce que, d'une part, on est dans la nécessité de donner plus de force aux hémicycles, d'une autre part, en ce que la courbure des hémicycles étant moindre, on peut employer dans leur composition des planches plus longues, et par conséquent écarter les joints davantage que dans les hémicycles de moindre portée; il en résulte que, plaçant les liernes doubles sur les joints ou commissures, les planches des hémicycles peuvent être traversées intermédiairement par des liernes simples qui ne répondent à aucun joint, et qui, en même temps qu'elles serrent les planches et entretiennent des hémicycles à leur distance comme les autres liernes, enchaînent pour ainsi dire, toutes les planches d'un hémicycle, les unes avec les autres, s'opposent à tout écartement dans les joints et à tous changements de courbure. Ainsi, par exemple, dans

l'hémicycle représenté fig. 17, une seule planche s'étend du point 3 au point 7, sur la face que montre le dessin ; sur l'autre face de l'hémicycle, la longueur d'une planche s'étend du point 1 au point 5, où se trouvent des joints ; ainsi, à tous les joints, sur quelques faces qu'ils soient, répondent des liernes doubles, et intermédiairement aux points 2, 4, 6, quoiqu'il n'y ait pas de joints, les deux épaisseurs des planches sont traversées par des liernes simples qui serrent les planches et les attachent les unes avec les autres. Ainsi la planche qui s'étend du point 3 au point 7, et celle qui s'étend du point 1 au point 5, sont attachées l'une à l'autre par la lierne, qui répond au point 4. Moins la courbure est grande, plus les planches sont longues, et plus on peut distribuer de liernes simples entre les liernes doubles, mieux les planches sont liées, et moins les hémicycles peuvent fléchir par l'effet du jeu des joints.

Rondelet pensait que Philibert Delorme aurait dû supprimer, dans la construction du comble du château de la Muette, les liernes qui traversent les courbes ; nous sommes loin de partager cette opinion. La liaison que ces liernes établissent entre les planches, comme nous l'avons expliqué plus haut, fait voir que ce n'est pas sans d'excellents motifs que l'auteur de ce beau système avait adopté la disposition dont il s'agit.

La figure 19 fait voir de quelle manière, dans le système que nous venons de décrire, les coyaux sont attachés aux hémicycles.

Philibert Delorme a construit des combles suivant sa méthode, sur divers châteaux et résidences royales ; les plus remarquables sont ceux du château de Saint-Germain-en-Laye, ceux du château d'Anet qui sont en impériale, et surtout celui de la Muette, dont nous venons de parler, à cause de la bonne combinaison de ses assemblages.

§ 6. *Rond Point.*

La figure 2 de la planche CII est, comme nous l'avons expliqué, le plan d'une croupe droite, construite au moyen d'hémicycles. Philibert Delorme fait remarquer que son système est également applicable à un bâtiment dont le plan est à pans coupés. Nous avons représenté, fig. 4, pl. CIII, le plan d'une croupe de plusieurs pans, vu par le dessous, et fig. 3, la coupe suivant la ligne *g h* du plan avec l'élévation vue par l'intérieur. Le dessin est suffisamment détaillé, et nous pouvons nous dispenser d'une longue et minutieuse explication. Nous ferons seulement remarquer que les deux figures représentant deux dispositions différentes, relativement à l'arrangement des hémicycles de remplissage, elles sont séparées par la ligne *A B* qui sert d'axe aux deux figures.

Sur la droite, les deux projections représentent la manière dont Philibert Delorme combine les hémicycles dans le cas dont il s'agit; il établit autour du poinçon des demi-hémicycles qui répondent aux angles du bâtiment comme des arêtièrs; il traite alors chaque partie du comble qui se trouve comprise entre deux arêtièrs, comme est traité le pan de croupe de la figure 2 de la planche CII; les parties d'hémicycles formant les empanons sont parallèles au demi-hémicycle de croupe, occupant le milieu de chaque pan du rond-point.

Les liernes sont distribuées de manière qu'elles ne sont pas par cours continus sur tout le développement du rond-point.

Les cours de liernes d'un pan répondent aux milieux des espaces qui séparent les cours de liernes des deux pans voisins. Cette disposition, que représente le dessin, a pour objet d'éviter la rencontre des liernes des deux pans contigus; par cette disposition, tous les hémicycles et parties d'hémicycles de remplissage entre les arêtièrs sont coupés sur le même gabarit.

Nous avons indiqué, à gauche, sur la deuxième moitié du dessin, une autre disposition que quelques constructeurs ont adoptée; il n'y a plus, à proprement parler, de demi-hémicycles arêtièrs, puisqu'il n'y a plus d'empanons, et que tous les demi-hémicycles tendent au poinçon, comme si le périmètre du bâtiment était circulaire. Cette disposition n'efface cependant pas les arêtes de la couverture, qui répondent toujours aux angles du bâtiment. Les liernes sont disposées, dans cette partie, comme dans celle de droite.

L'inconvénient de cette disposition des demi-hémicycles, est qu'à l'exception de ceux qui répondent aux arêtes, qui sont droits et délardés des deux côtés comme arêtièrs, et de ceux qui, répondant aux milieux des pans, sont également droits, mais non délardés, tous les autres sont biais, ce qui augmente le travail d'exécution, puisqu'il faut qu'ils soient tous taillés en dessus et en dessous, suivant les biais de leurs positions. Il faut, en outre, que toutes les mortaises des hémicycles pour recevoir les liernes, et toutes les mortaises des liernes pour recevoir les clefs, soient également biaises.

Les figures 2 et 4, dont nous venons de nous occuper, n'ont pour objet que de montrer les dispositions qu'on peut adopter pour l'application du système de Philibert Delorme à la construction d'un comble sur un plan polygonal, mais on doit bien concevoir que tout ce minutieux détail de dessin n'est point nécessaire comme épure de chantier. Il suffit, pour l'exécution d'une charpente suivant ce système, qu'on ait le plan pour marquer les emplacements des hémicycles et leurs épaisseurs, et des ételons tant pour les hémicycles principaux et pour les empanons, que pour

les arcs rallongés et arcs biais, pour assembler les planches, les gabarier et tracer les mortaises.

Si l'extrémité d'un bâtiment donnant lieu à une croupe, au lieu d'être formée par trois pans, en présentait un plus grand nombre, les moyens de construction seraient les mêmes. M. Ride, architecte, a fait une étude d'une croupe sur le chevet de l'église des Annonciades d'Anvers, qui est gravée pl. XII et XIII du premier recueil de Krafft; nous ne la reproduisons point ici, parce qu'elle est plus compliquée que la disposition que nous avons représentée, et qu'elle n'est pas plus propre pour bien exposer la méthode de construction.

Pour remédier à l'inconvénient de la courbure des surfaces du comble, par rapport à l'emploi de la tuile et de l'ardoise, M. Ride a rendu planes les diverses parties extérieures de la croupe, en ajoutant des coyaux qui joignent la corniche et le fâchage. Les faces supérieures des uns et des autres, sont en lignes droites tangentes aux courbes; nous en avons indiqué de cette sorte en lignes ponctuées sur la figure 3.

Ils sont composés comme les hémicycles de planches accolées, et traversés par des liernes avec clefs. Les coyaux inférieurs portent sur des sablières et sont retenus aux hémicycles par des blochets cloués.

§ 7. *Projet d'une Basilique.*

Philibert Delorme pensait avec raison que son système donnait le moyen de construire des combles d'une portée beaucoup plus grande que celle à laquelle on pouvait satisfaire, par le moyen des charpentes usitées de son temps; et pour en donner une preuve, il a compris, dans la description de son invention, un projet pour le comble d'une basilique de 25 toises (près de 49 mètres) de largeur, sur 40 toises (78 mètres) de longueur; en n'employant que des hémicycles dont les naissances seraient établies sur le rez-de-chaussée de l'édifice, élevé de quelques marches au-dessus du sol. Cette salle serait entourée d'une galerie et de quatre petits pavillons aux angles destinés à différents usages.

Nous ne reproduisons point les dessins de ce projet, parce que sa charpente ne contient aucuns détails différents de ceux que nous avons donnés, et qu'il n'est remarquable que par ses proportions gigantesques.

§ 8. *Projet d'un Dôme.*

Philibert Delorme a aussi publié, dans son ouvrage, le projet d'un dortoir circulaire, avec cellules, composé d'un rez-de-chaussée et de trois

étages, que le roi Henri II voulait faire construire pour les religieuses de Montmartre; les événements des temps en ont empêché l'exécution. Le comble de ce dortoir devait être une coupole qui se serait étendue sur le cloître circulaire; elle aurait été construite en planches de champ suivant son système, et aurait eu 30 toises (58 mètres et demi) de diamètre. Philibert Delorme fait remarquer que ce dôme, presque hémisphérique, érigé sur Montmartre, aurait apparu de Paris comme un globe céleste.

Nous avons donné, pl. CIII, d'après la figure gravée sur bois, de l'œuvre de ce célèbre architecte, le plan, fig. 6, et une coupe, fig. 5, de ce beau projet suivant la ligne *m n* du plan.

Dans la figure 5, nous avons tracé les caissons en menuiserie qui devaient couvrir les parois intérieures de ce dôme élégant. Dans les figures 22 et 23, nous donnons un croquis de la disposition indiquée par Philibert Delorme, pour la liaison des planches, au moyen de liernes qui, vu la courbure du dôme, ne devaient pas s'étendre au-delà de deux hémicycles.

L'intérieur de cette coupole devait être éclairé par une vaste lanterne, qui l'aurait couronnée. Nous avons supprimé cette lanterne, à cause du peu d'espace dont nous avons pu disposer pour les figures; et nous avons, par la même raison, réduit le bâtiment à la hauteur de deux étages, au lieu de trois au-dessus du rez-de-chaussée, comme les avait projetés Philibert Delorme, ce qui ne change rien au mérite de cet ingénieux et élégant projet, dont nous parlerons encore au sujet de la coupole de la halle aux blés de Paris, pour restituer à Philibert Delorme le mérite de cette belle conception.

§ 9. Poutres.

Philibert Delorme a appliqué son système à la construction des planchers. Il lui sert à former des poutres qui doivent soutenir les solives.

La figure 1, pl. CIII, représente l'élévation d'une de ces sortes de poutres. La fig. 2 est la coupe de deux poutres et d'une partie du plancher qu'elles soutiennent. Philibert Delorme avait fait construire *en son logis, rue des Tournelles*, deux poutres de cette sorte, l'une, composée de 225 pièces, l'autre de 263, non compris les chevilles qui n'ont servi qu'à l'entretienement jusqu'à ce que les poutres soient placées. Elles furent éprouvées avec deux vervins, en présence du roi et d'autres princes et seigneurs, de telle sorte qu'on soulevait toute la couverture et enfonçait-on les murs du bâtiment où elles étaient; et quelque force de vervins qu'on ait pu produire, on ne put les faire baisser de demy-doigt.

Ces poutres avaient 14 pieds (4^m,55) de longueur dans œuvre; on aurait pu les faire servir pour un *logis* de 15 pieds (environ 5 mètres), en faisant porter les bouts de sablières qui reçoivent les arcs sur des corbeaux ou des corniches intérieures comme on le voit dans la fig. 1, afin que les bois n'étant point engagés dans la maçonnerie on pût aisément les remplacer, en cas qu'avec le temps quelques pièces viennent à pourrir.

Chaque poutre est composée de trois arcs, et chaque arc de deux épaisseurs de planches; les trois arcs sont traversés par des liernes, et celles-ci le sont par les clefs qui serrent les planches et maintiennent les arcs à leur écartement. Les liernes devant dépasser de beaucoup les parements extérieurs de la poutre, pour que les clefs ne fassent point éclater les abouts, leurs saillies sont cachées par des coffrets figurant des consoles qui ne servent qu'à la décoration de la poutre sur laquelle on peut peindre ou rapporter, dans les métopes et tympans différents sujets d'ornements.

Philibert Delorme indique, comme il suit, les proportions qu'il a reconnues les meilleures, pour la construction de ces sortes de poutres. La flèche de l'arc doit être d'un sixième de la portée de la poutre dans œuvre. Les planches qui composent les arcs ont 2 pieds (0^m,66) de longueur pour les parties les moins courbes, et 1 pied et demi (0^m,50) pour celles qui ont la plus grande courbure, leur épaisseur est de 1 pouce et demi (0^m,041). Pour les poutres qui n'ont que 24 à 30 pieds (8 à 10 mètres), trois arcs de deux planches d'épaisseur suffisent, mais pour des portées de 30 à 40 pieds (10 à 13 mètres), Philibert Delorme veut que la poutre soit composée de quatre arcs, et chaque arc de planches de 2 à 3 pouces (54 à 81 millimètres) d'épaisseur.

Avec des portées de 54 pieds (environ 18 mètres), la largeur des planches doit être de 18 pouces (0^m,50), et l'épaisseur de la poutre sera le quinzième de sa longueur; les planches pourront avoir 6 pieds (2 mètres) de longueur, et les arcs pourront n'être écartés les uns des autres que de 6 pouces (0^m,16).

Pour les grandes portées, Philibert Delorme conseille de faire les arcs du milieu des poutres plus élevés, et de placer des lambourdes à côté en les liant aux arcs par des goujons en fer ou de fortes chevilles en bois.

Les desseins que nous donnons de ce système de poutres, font suffisamment connaître les détails de ce genre de charpente que Philibert Delorme estime comme pouvant être appliqué à la construction d'un pont de 200 toises (390 mètres) de longueur sur une grande rivière.

II.

APPLICATIONS MODERNES.

§ 1. *Coupole de la Halle aux blés de Paris.*

Le marché aux grains et farines faisait autrefois partie des halles, dans un emplacement où l'on entrait par les rues de la Fromagerie et de la Tonnellerie. Ce n'est qu'en 1762 que l'espace n'étant plus en rapport avec les besoins de la population, les magistrats de la ville de Paris confièrent à l'architecte Lecamus de Mézières, la construction d'une halle circulaire pour les blés et farines sur l'emplacement de l'hôtel de Soissons (1), qu'ils avaient acquis de la famille de Savoie-Carignan. Cet édifice fort remarquable, et dont nous donnons le plan fig. 10, pl. CIV, fut terminé en 1767, et ouvert au commerce des grains le 12 janvier. On ne tarda pas à reconnaître l'insuffisance de ce local, et pour augmenter les espaces propres à abriter les grains et farines, on résolut de couvrir la grande cour circulaire que Lecamus de Mézières avait réservée au centre de l'édifice, et dont le diamètre est 39^m,266.

Plusieurs projets furent présentés, un entre autres, suivant lequel on proposait une voûte en maçonnerie en partie soutenue sur quelques colonnes ; mais la coupole en bois de MM. Legrand et Molino prévalut à cause de son élégance et de sa simplicité. Ces deux habiles architectes avaient apprécié la beauté du système de Philibert Delorme, jugé l'admirable effet qu'il devait produire, et reconnu qu'il était le seul moyen de couvrir, par une charpente, un espace aussi vaste.

La figure 11, pl. CIV, est une coupe de ce monument suivant la ligne *xy* du plan, fig. 10.

L'exécution de cette coupole fut entreprise sous la direction de MM. Legrand et Molino, par Roubo, auteur de l'*Art du Menuisier*. Après un travail de cinq mois, elle fut terminée le 31 janvier 1783.

En 1802, un plombier qui réparait la couverture, ayant laissé un réchaud

(1) Cet hôtel avait été originairement nommé hôtel de la Reine, parce que Catherine de Médicis l'avait fait bâtir en 1572.

allumé sur cette charpente, le feu s'y communiqua, et en moins de deux heures, cette admirable coupole fut entièrement consumée, après dix-neuf ans et neuf mois d'existence.

Ce n'est qu'en 1809 que la coupole incendiée a été remplacée par une coupole de même dimension, mais en fer, pour prévenir le retour d'un pareil désastre. M. Bellanger, architecte, fut chargé de cette construction, dont l'exécution fut confiée à M. Brunet, ancien entrepreneur de bâtiments, à Paris, que nous avons déjà cité page 32, au sujet de l'ouvrage qu'il a publié pour faire connaître comment il a résolu les questions que présentait la distribution des châssis-voussoirs qui devaient composer le nouveau comble.

Cette coupole est sans doute un magnifique ouvrage, mais il s'en faut, à notre avis, qu'elle ait, surtout intérieurement, l'appareille légèreté et l'élégance de l'ancienne, ni qu'elle laisse pénétrer autant de jour dans l'intérieur, malgré une lanterne de 11^m,044 de diamètre conservée dans son sommet, et les panneaux qu'on s'est vu forcé de vitrer en 1838 pour tenir lieu de fenêtres.

Nous donnons, pl. CIV, les détails de la construction de la coupole en charpente de MM. Legrand et Molino. Cette coupole était sans doute la plus belle application qui ait été faite et qui le sera jamais, peut-être, du système de Philibert Delorme.

Sans vouloir en rien diminuer le mérite de MM. Legrand et Molino, nous devons à la vérité de dire que cette coupole n'était que l'exécution du projet que Philibert Delorme avait fait pour le dortoir des religieuses de Montmartre, dont nous avons déjà parlé page 170, réduit à un diamètre qui est les deux tiers de celui qu'il devait avoir.

Nous en avons reproduit le dessin fig. 5 et 6 de la pl. CIII; ainsi tout le mérite de cette conception doit être conservé à Philibert Delorme. MM. Legrand et Molino avaient néanmoins apporté, dans l'exécution, les corrections motivées par le perfectionnement du goût de l'époque, et l'art leur doit une grande reconnaissance pour avoir, avec tant de talent et d'habileté, tiré de l'oubli une si belle invention.

Comme nous l'avons dit ci-dessus, les figures 10 et 11, de la pl. CIV, présentent un plan et une coupe de la Halle aux blés; nous y avons figuré la colonne de Catherine de Médicis, que Lecamus de Mézières avait dû conserver, et au pied de laquelle est aujourd'hui une fontaine.

La conservation de ce monument a forcé l'architecte à faire le pilier qui lui correspond plus large que les autres, ce qui empêche que les arcades soient toutes diamétralement opposées; nous n'avons point eu égard à cette déféctuosité forcée, en traçant la coupe, fig. 11, faite sur la ligne $x y$ du plan.

Le figure 1 représente, en lignes ponctuées, le quart du plan de la rotonde, dont le centre est en *A*, et en lignes pleines la moitié de la coupe de la coupole, dont le centre est en *B* à l'échelle de 0^m,01 pour un mètre.

Les hémicycles immédiatement placés près des fenêtres en côtes de melon, étaient formés de quatre épaisseurs de planches, et tous les autres de trois épaisseurs seulement.

Les liernes étaient distribuées comme dans les fig. 17 et 18, de la pl. CII, sinon que les clefs traversant les liernes doubles étaient doubles aussi, afin que chaque bout de planches se trouvât mieux maintenu, et qu'aucun ne pût échapper.

Nous avons représenté un détail de cet assemblage dans une projection verticale, fig. 8, pl. CIV, et un profil, fig. 9.

Pour simplifier ces deux projections, nous avons supposé, dans les deux figures, que les hémicycles n'ont point de courbure. Ces deux figures sont construites sur deux échelles; les écartements des hémicycles et des liernes sont figurés à l'échelle d'un vingt-cinquième, tandis que les dimensions des bois sont à celle de deux vingt-cinquièmes.

La figure 5 est une projection verticale qui présente la combinaison des hémicycles, des liernes et des clefs, à une échelle double, en supposant toujours, pour simplifier les moyens de projection que les hémicycles sont sans courbure.

Cette figure représente de quelle manière les hémicycles étaient assemblés pour former le bas et le haut des fenêtres. La figure 4 est une projection horizontale de cette disposition.

La figure 6 est un profil d'une partie de la naissance de l'un des hémicycles supposé rectiligne. La figure 7 est une projection de la sablière, également en ligne droite.

La figure 3 représente la projection horizontale de la triple couronne en planches, dans laquelle s'assemblaient tous les hémicycles.

La figure 2 est un profil de la couronne et d'un hémicycle qui s'y assemble, suivant la ligne *AB* des fig. 3, 4, 5, 7; la ligne *ab*, fig. 2, est une horizontale.

Les hémicycles, tous tendant à l'axe de la coupole, étaient distribués de telle sorte, que dans les parties de la circonférence de la coupole, où ils se trouvaient interrompus par les fenêtres, ils fussent plus nombreux et plus serrés que dans celles répondant aux piliers qui étaient pleins, et où les hémicycles étaient entiers, ayant pour développement tout le contour d'un méridien de la coupole, sauf la portion répondant à la couronne du sommet.

Dans la distribution des pleins et des vides de la coupole, les côtes pleines étaient plus larges que celles vides d'un huitième de la largeur de

celles-ci, c'est-à-dire que les deux largeurs ou écartements des courbes formées par quatre épaisseurs de planches, et qui formaient les maîtres hémicycles, étaient représentés par le nombre 8 dans les côtes pleines, et par le nombre 7 dans les parties répondant aux côtes à jour.

Les parties répondant aux côtes à jour comprennent trois arcs de trois planches, entre les maîtres hémicycles, et dans les parties répondant aux parties pleines, il n'y en avait que deux entre les mêmes maîtres hémicycles.

Nous avons indiqué cette disposition sur le plan, fig. 1, dans la zone répondant à la sablière, par de gros traits pour les places occupées par les maîtres hémicycles et par des traits fins pour les places occupées par tous les autres.

L'extrados de la coupole était revêtu d'un lattis en planches pour recevoir la couverture. L'intrados était également revêtu en planches; il était peint en blanc, les joints des planches figuraient ceux des assises, comme si elles eussent été en pierres,

Les épaisseurs des lattis et des revêtements sont marquées en lignes ponctuées sur les figures 2, 4, 5, 6 et 7.

§ 2. *Hangars et Manèges.*

Une des premières applications du système de Philibert Delorme qui suivit la construction de la coupole de la halle aux blés, a été la construction du comble en berceau de la halle aux draps, sur le marché des Innocents, à Paris (1).

Vers la fin de 1795, on a construit aussi des combles de hangars et de manèges, suivant ce même système; nous avons tracé, fig. 4, pl. CV, une ferme du comble cylindrique d'un manège. La partie qui est à gauche, est construite exactement d'après le système de Philibert Delorme; les hémicycles de ce comble sont écartés de 0^m,65. Ils ne diffèrent de celui que nous avons décrit page 162, que par les arbalétriers droits, supportés par les hémicycles pour remédier à l'inconvénient de la courbure du toit, par rapport à l'application de la tuile ou de l'ardoise sur le lattis de couverture. Ces arbalétriers peuvent être construits chacun d'une seule pièce, ou formés de planches assemblées comme celles qui composent les hémicycles; ils peuvent, vu leur rapprochement, porter immédiatement le lattis sans intermédiaire de pannes.

A droite, on suppose que les hémicycles sont également espacés de

(1) Ce comble a été détruit par l'incendie. Le bâtiment a été démoli par suite de la nouvelle construction des Halles centrales en fer.

deux pieds (0^m,65), comme le prescrit Philibert Delorme, afin de revêtir l'intrados de planches pour donner l'apparence d'une voûte; mais les arbalétriers sont distribués à un plus grand écartement, et les hémicycles sur lesquels ils portent, et auxquels ils sont liés par des moises en planches fixées par des boulons, sont formés de trois planches pour augmenter leur force; ces arbalétriers reçoivent l'assemblage de pannes de champ qui supportent les chevrons, sur lesquels le lattis est cloué.

La figure 2, pl. CV, est la coupe d'un manège que j'avais projeté en 1803 pour l'École d'artillerie et du génie, à Metz, lorsque j'y étais commandant en second. L'emplacement sur lequel ce manège devait être construit, aurait permis de lui donner 14 mètres de largeur; lors de l'exécution, qui eut lieu quelques années plus tard, l'emplacement qui a été choisi a forcé de ne lui donner que 10^m,38 de largeur. La figure 1 est un fragment de plan à la hauteur des blochets, suivant la ligne *a b*; la figure 3 est un autre fragment de plan à la hauteur des naissances des hémicycles, suivant la ligne *c d*.

Les blochets et les poinçons font moises; les chevrons sont supportés par les hémicycles; les liernes qui sont simples sont traversées de deux clefs seulement sur les joints. Ces liernes ne traversent chacune que deux hémicycles, et elles sont en liaison comme celles ponctuées fig. 1 et 2.

§ 3. *Comble du Salon de l'Hôtel de la Légion d'honneur.*

La fig. 4, pl. XCI, est un profil de la charpente, suivant le système de Philibert Delorme, qui couvre et décore le salon de l'hôtel de la chancellerie de la Légion d'honneur, à Paris (précédemment hôtel de Salm), bâti par M. Cousseau, architecte, en 1783, peu après la construction de la coupole de la halle aux blés. Chaque hémicycle est composé de deux arcs, l'un portant la couverture de la coupole, l'autre formant une voussure à jour dans l'intérieur.

La fig. 5 est un fragment du plan qui fait voir la distribution des hémicycles.

Les surfaces intérieures de la coupole et de la voussure sont revêtues d'un ravalement en plâtre qui a reçu les riches peintures du plafond. La lumière qui éclaire la surface intérieure de la coupole, lui arrive par des ouvertures que la couronne à jour de la voussure ne laisse point apercevoir.

§ 4. *Comble de l'église de Saint-Philippe-du-Roule à Paris.*

La charpente de l'église Saint-Philippe-du-Roule a été construite, vers 1783, par Niquet, l'un des plus habiles charpentiers de l'époque, sous la direction de M. Lemoine, et sur les dessins de M. Chalgrin, architectes.

Le système des charpentes ordinaires a été combiné avec celui des charpentes en planches de champ.

La figure 1, pl. CV, est une coupe en travers de l'église, par un plan vertical. La charpente ordinaire qui soutient la couverture est circonscrite à la voûte en berceau qui couvre la nef et qui est composée d'hémicycles. Chaque hémicycle *a*, fig. 2, est formé de planches de champ clouées les unes sur les autres, suivant le système qui a précédé l'invention de Philibert Delorme. Les hémicycles sont entretenus verticaux par des liernes *b*, fig. 2 et 3, qui s'y ajustent par entailles réciproques dans l'intrados, et à des distances égales. Ces liernes sont entretenues par des entretoises *c*, fig. 3, qui leur sont assemblées à tenons et mortaises, et qui forment avec elles des compartiments carrés, et servent de champ de séparation des caissons *d* dans lesquels sont adaptés à rainures et languettes, des cadres saillants *e* à moulures et foncés chacun par un panneau en bois.

La figure 2 est un profil d'une partie de cette charpente sur une échelle double, et suivant la ligne *xy* de la figure 4.

La figure 3 est une partie d'un hémicycle qui n'est pas encore posé sur la sablière et qui n'a pas encore reçu les liernes ni aucune des parties formant les caissons.

La figure 4 est une élévation d'un fragment de la voûte, projeté sur un plan vertical parallèle à son axe, sur une échelle double, montrant les compartiments formés par les liernes *b* et leurs entretoises *c*.

Nous avons marqué dans quelques-uns de ces compartiments les encadrements saillants des caissons.

La figure 9 est une coupe faite dans la voûte par un plan perpendiculaire à sa surface suivant la ligne *mn* de la figure 1.

La figure 10 est la projection du cadre de l'un des caissons.

La figure 11 est la projection d'un des côtés d'un cadre portant les tenons.

La figure 12 est le profil d'un des côtés de ce cadre.

Les panneaux formant les fonds des caissons sont assemblés à rainures et languettes dans les cadres qui sont eux-mêmes assemblés à rainures et languettes dans les liernes et les entretoises.

Les bois des compartiments, liernes et entretoises, aussi bien que les cadres et les fonds des caissons, lors du levage, sont assemblés par cours horizontaux.

§ 5. *Coupole des Petites Écuries à Versailles.*

Les petites écuries du roi, à Versailles, sont composées de trois corps de bâtiment dont les axes font entre eux deux angles de 75° environ, et un de 210°. Le rez-de-chaussée de ces trois corps de bâtiment est occupé par trois larges salles qui servent d'écuries proprement dites. Sur l'axe de celui qui fait des angles de 75° avec les deux autres, et dans le point où les axes du bâtiment se coupent, se trouve un espace ovale où se réunissent les trois grandes écuries; cet espace forme une espèce de manège. Le comble qui couvrait autrefois cette rotonde était composé de seize arbalétriers cintrés, et formait une calotte qui s'appuyait sur le bord de l'encorbellement en maçonnerie figurant le commencement d'une voûte. Ce manège était éclairé par une lanterne circulaire occupant le sommet du comble.

L'état de pourriture des bois nécessita la reconstruction de ce comble, et des considérations d'économie, autant que le désir de se conformer à la mode de l'époque, ont déterminé à remplacer la lourde charpente de Mansard par une coupole légère suivant le système de Philibert Delorme. M. André, capitaine du génie, fut chargé, en 1803, de cette construction, et résolut avec habileté les difficultés que lui présentaient la forme elliptique du manège et la condition de conserver au sommet de la coupole une lanterne circulaire du même diamètre que l'ancienne (1). Il résulte de cette condition que les hémicycles sont tous différents, du moins dans chaque quart du pourtour du manège; qu'ils tendent tous au centre et que la paroi intérieure de cette voûte n'est point une surface d'ellipsoïde, quoiqu'elle en ait l'apparence.

Le grand diamètre de l'ellipse servant de naissance à la coupole est de 20^m,29; le petit axe, de 18^m,24; le diamètre intérieur de la couronne circulaire formant la lanterne est de 4^m,87, et celui de son cercle extérieur est de 5^m,20.

La coupole est composée de 64 demi-hémicycles, tous dirigés sur son axe, et distribués de façon que leurs écartements sur l'ellipse de la naissance sont tous égaux. De ces 24 hémicycles, les 16 principaux sont composés de trois planches; tous les autres au nombre de trois dans tous les intervalles des hémicycles principaux, n'ont que l'épaisseur de deux planches.

(1) M. le capitaine André a publié une description de la coupole qu'il a exécutée; in-4°, Paris, an xu (1804)

L'intrados de l'hémicycle principal qui répond au grand diamètre de la rotonde, et qui est le plus grand, est un arc de cercle passant par les bords des sablières, et par les extrémités du diamètre du cercle extérieur du dessous de la couronne qui reçoit l'assemblage des 64 demi-hémicycles. Cette couronne est élevée de 8^m,12 au-dessus du plan horizontal desdites sablières; elle a 32 centimètres de hauteur; elle est surmontée d'un gros tore qui forme le couronnement de la coupole. Tous les hémicycles, tant principaux que de remplissage, ont pour arcs d'intrados des arcs d'ellipse dont les ordonnées verticales sont égales à celles de l'arc de cercle du plus grand hémicycle principal. Ces ordonnées répondent à des abscisses qui partagent en parties proportionnelles la distance entre la sablière et la projection horizontale du cercle de la lanterne.

Les cours de liernes sont placés à 0^m,66 les uns des autres. Tous les hémicycles sont, dans chaque cours de liernes, traversés par deux liernes, ce qui fait pour chaque joint un double cours de liernes, néanmoins chaque partie de lierne ne saisit que deux hémicycles.

Les interruptions de chaque lierne dans un même cours n'ont lieu que de deux en deux arcs, et répondent au milieu de la lierne du même cours liant les arcs, de façon que dans chaque double cours de liernes tous les hémicycles sont liés, et que d'un cours à l'autre les interruptions répondent au milieu des liernes non interrompues.

Des boulons remplacent les liernes pour serrer les planches à la naissance des hémicycles et à leur portée dans la couronne de la lanterne.

Une disposition particulière permet à l'air de circuler entre toutes les planches de cette coupole. Pour tenir ces planches écartées dans chaque hémicycle, on a placé entre elles dans toutes les parties où elles devaient être traversées par les liernes ou les boulons, des cales en bois de chêne d'environ 2 centimètres d'épaisseur, qui sont aussi traversées par ces mêmes liernes ou par les boulons suivant les places où elles se trouvent.

Nous ne donnons point le dessin de cette coupole, vu que la description que nous venons d'en faire est suffisante, puisqu'elle ne diffère des constructions de ce genre que par quelques détails que nous avons signalés.

§ 6. *Grange hollandaise.*

Le système des planches de champ clouées les unes sur les autres pour former des arcs est encore combiné dans la construction d'une grange hollandaise, fig. 5, pl. CV, avec le système ordinaire. Les égouts des

deux pans du toit sont portés sur une sablière soutenue par des poteaux ; le faitage est porté par le sommet des arcs en tiers-point.

Les sablières sont soutenues dans le milieu de leurs portées par des arcs en bois plein, formant aussi ogive.

J'ai représenté, sur la même figure et dans la coupe, la projection d'une travée longitudinale vue par l'intérieur pour montrer la combinaison des poteaux, des sablières et des arcs qui soutiennent ces dernières pièces. Les pannes et le chevron sont aussi projetés.

§ 7. *Cale couverte de Rochefort.*

Les cales sont des emplacements disposés pour y construire les vaisseaux de guerre ou pour les conserver hors d'eau en temps de paix. Soit pour que le travail puisse s'exécuter à couvert, soit, pour garantir les bâtiments construits des injures du temps, on élève au-dessus des cales, de grands combles, et elles prennent alors le nom de cales couvertes.

La figure 1 de la planche CVI est le plan général, sur une petite échelle, d'une cale couverte en charpente, construite à Rochefort pour des vaisseaux de 120 canons, sur les dessins de M. Mathieu, ingénieur en chef.

La charpente qui couvre cette cale est composée de dix-huit fermes.

La figure 2 représente une ferme avec ses poteaux et accores (*étais*).

Les arcs sont formés de madriers de 5 mètres de longueur accolés pleins sur joints et serrés par de petits boulons de 15 millimètres de diamètre.

La couverture est en bardeaux sur voliges clouées sur les pannes.

Les poteaux sont supportés sur des fondations en maçonnerie ; les accores sont assemblés dans des semelles posées sur le sol.

La figure 3 est un fragment d'élévation latérale pour montrer les liernes et croix de Saint-André qui lient les poteaux entre eux, et les accores qui complètent la stabilité dans le sens de la longueur de l'édifice.

§ 8. *Cale couverte de Lorient.*

La figure 5, planche CVI, est le plan général de la cale couverte construite à Lorient, par M. Lamblardie, ingénieur des ponts et chaussées.

La charpente du toit est portée sur des colonnes en granit blanc des bords du Blavet.

La figure 8 est une coupe en travers, sur laquelle est la projection d'une ferme et des toits qui couvrent les entre-colonnes. La figure 10 est une partie de l'élévation latérale d'une des extrémités de l'édifice, ayant pour objet de montrer les arcades en charpente, qui reportent sur les colonnes le poids du grand comble. Les petits combles latéraux sont construits en hémicycles, formés de deux madriers d'épaisseur, liés par des liernes en forme de moises, qui les embrassent et les maintiennent par leurs assemblages à entailles et des liens en fer.

Les figures 4, 6, 7 et 9 sont des détails des assemblages, sur des échelles quadruples de celles de la figure 8 et 10. La figure 7 représente une partie d'hémicycle *a*, vue comme dans la figure 8, entre les deux liernes *b b*, qui y sont assemblées par entailles, dont la profondeur est la même sur l'hémicycle et sur les liernes, et est égale au quart de l'épaisseur de ces dernières.

Les liernes qui font office de moises sont serrées par des liens à vis et écrou; l'un de ces liens est représenté isolément, fig. 6.

La figure 4 est une coupe faite dans la figure 7, suivant la ligne *xy*; la figure 9 est une projection de deux hémicycles *a* et *a'*, sur un plan tangent au grand comble; la partie de cette figure qui répond à l'hémicycle *a*, présente la projection de l'assemblage par le dehors du comble; on y voit la traverse du lien. La partie de cette même figure qui répond à l'hémicycle *a'*, montre l'assemblage vu par le devant du comble, les bouts des liens et leurs écrous y sont figurés.

Cette grande charpente étant ouverte aux deux bout, le vent, en s'y engouffrant, manifestait une si puissante action; que pour prévenir de graves avaries pendant les tempêtes, on s'est déterminé à relier les fermes des deux côtés aux extrémités de la cale, par des tirants en longs chainons de fer. Le tirant inférieur de la tête d'aval se démonte au moment d'un lancement pour livrer passage au vaisseau lancé, et se replace immédiatement après, ce qui n'a nul inconvénient; la mise à l'eau des bâtiments n'ayant jamais lieu que par un beau temps, et les tirants ne déparant aucunement ces belles cales, vu surtout qu'ils ne sont que des moyens de précaution.

§ 9. Petite Charpente hollandaise.

La figure 3, de la planche XCV, représente la coupe d'un comble en sapin construit en Hollande, tiré du *Recueil* de Krafft.

Chaque ferme est composée de deux arbalétriers, d'un cintre et d'un poinçon. Le cintre est formé de trois épaisseurs de planches assemblées

pleins sur joints avec des boulons; les fermes sont espacées de 3 à 4 mètres; les pannes sont entaillées sur les arbalétriers; les arcs portent en dessous un revêtement en planches qui donne à l'intérieur l'apparence d'une voûte.

§ 10. *Assemblages divers.*

Les constructeurs qui ont voulu appliquer le système de Philibert Delorme, ne l'ont pas toujours copié strictement; ils y ont fait souvent des changements qui en ont rendu l'exécution plus facile, et l'application plus commode et moins dispendieuse; néanmoins quelques-uns des changements effectués ou proposés font voir que leurs auteurs n'ont pas toujours bien compris l'invention de Philibert Delorme. Nous ne rapporterons que les principales combinaisons résultant de ces changements.

Rondelet conseille de placer toutes les liernes sur les bords des hémicycles, de les entailler, ainsi que les planches, de les attacher avec des clous, et de les établir alternativement une en dedans, une en dehors. La fig. 7, pl. CIII, est un profil qui montre cette disposition; la figure 9 est une coupe, par un plan perpendiculaire au plan vertical, suivant la trace *m n*.

Les planches sont clouées l'une sur l'autre, et les liernes sont clouées sur les planches; la figure 8 est la représentation d'une lierne, vue sur la face dans laquelle les entailles sont faites.

La figure 10 est un profil d'un arc dans lequel les liernes sont doubles et établies sur chaque joint.

La figure 11 est une coupe suivant la ligne *p q*; les entailles faites à mi-bois dans les liernes sont à recouvrement, de manière à maintenir les planches serrées les unes contre les autres; elles sont, comme précédemment, clouées sur les épaisseurs des planches.

Ces deux dispositions, au plus bonnes pour les plus minimes charpentes, ne sont que la reproduction de ce qui était pratiqué dans les charpentes exécutées avant l'ingénieuse invention de Philibert Delorme.

La figure 12 est un troisième profil de la même construction dans lequel les espaces entre les liernes de l'intrados sont remplis par des voliges, pour former concurremment avec les liernes le revêtement en forme de voûte.

La figure 13 représente deux coupes, l'une *a*, suivant la ligne *m n* de la figure 12, qui représente les liernes *b b*, entaillées avec recouvrement, et fixées par des vis à bois sur les planches; l'autre coupe *b* suivant *p q* répondant aux liernes *d d*, également entaillées à recouvrement, mais qui sont retenues des deux côtés des arcs par de petits boulons.

La figure 14 représente une des liernes vue du côté de ses entailles.

La figure 15 est le profil d'un arc sans liernes, dans lequel les planches appliquées les unes contre les autres, leurs joints étant en liaison et à endents, sont serrées par de petits boulons à écrous et rondelles qui les traversent; on suppose, dans ce cas, que les revêtements intérieurs et extérieurs, qui d'ailleurs ne sont point marqués dans la figure, suffisent pour maintenir les arcs verticaux et à leur écartement.

La figure 16 représente la coupe de deux arcs, suivant la ligne xy .

Dans les figures 17 et 18, l'une qui est un profil, l'autre une coupe suivant la ligne mn , on a substitué des cylindres aux liernes carrées; l'avantage de cette disposition est qu'on peut percer les mortaises circulaires avec des mèches anglaises, les cylindres peuvent être arrondis au rabot dans des quartiers de bois de même volume que les liernes, et ils sont traversés comme les liernes par des clefs.

La figure 19 est le profil d'un arc en planches a , que des moises b combinent à d'autres pièces de la charpente d'une ferme. Ces moises, qui recouvrent les joints ou commissures des planches, sont serrées contre l'arc par le moyen des liernes qui les traversent ainsi que l'arc, et qui peuvent être simples comme celle c , ou doubles comme celle d ; dans l'un et l'autre cas, elles sont traversées par des clefs carrées en bois qui opèrent la pression.

La figure 20 est une coupe suivant la ligne uv .

La figure 21 est une autre coupe suivant la ligne $u'v'$.

Les figures 24 et 25 représentent des combinaisons pour former, avec des planches simples, des arcs et des liernes, assemblées seulement par entailles sans aucune mortaise, sinon celles pour les clefs servant à serrer les différentes parties de ce mode de construction.

La figure 24 présente deux dispositions pour former des voûtes en berceau. En A , les planches sont combinées sans entailles, les arcs sont formés de deux planches a , séparées l'une de l'autre par des bouts de planches $b b$, entre lesquels passent deux planches $c c$, une en dehors, l'autre en dedans de l'arc, où elles forment liernes. Ces planches sont retenues et serrées par des doubles clefs carrées, qui en traversant les uns, croisent les autres en dehors de l'assemblage.

En B , même figure, le nombre des clefs est diminué, parce que les planchettes normales b et les liernes c sont entaillées de manière qu'il n'y a besoin que de quatre clefs $d d$ pour maintenir l'assemblage. Les hémicycles, ainsi formés d'arcs jumeaux, sont distribués, suivant la longueur du bâtiment, de mètre en mètre, et les liernes sont réparties sur le développement de la courbure, également de mètre en mètre.

Dans la figure 23, la combinaison est faite en sens inverse, c'est-à-dire

que chaque arc est formé de deux planches *a a*, courbées à plat et séparées par des liernes *b d* qui sont comprises dans des plans tendant au centre; ces liernes sont séparées par des planchettes *c c* en forme de voussoirs.

En *A*, des clefs doubles serrent les assemblages en traversant des planches pour en croiser d'autres.

En *B*, les planches entaillées permettent de diminuer le nombre des clefs qui sont réduites aux quatre *d* qui traversent les arcs et croisent les liernes.

Nous avons voulu, dans ces deux figures, présenter une application de la combinaison représentée fig. 39 et 40 de notre pl. XXIII, et dont nous avons parlé page 192, tome I^{er}.

Nous reconnaissons que les combinaisons représentées dans ces deux figures sont peut-être plus curieuses qu'utiles, bien qu'il soit certain qu'on puisse construire un comble par leur moyen.

CHAPITRE XXVIII.

SYSTÈME DE M. LACASE.

M. Lacase, entrepreneur de charpente, à Paris, a trouvé un moyen assez ingénieux, dit Rondelet, de former des courbes pour les combles avec des solives de 5 à 7 pouces (0^m,135 à 0^m, 190) de grosseur, refendues en deux, et assemblées à trait de Jupiter. Ces courbes, qui forment un cintre gothique, sont réunies par des liernes et des entretoises. Ce système, ajoute Rondelet, réunit tous les avantages de la méthode de Philibert Delorme, avec moins de dépense.

Le système de M. Lacase peut être utile, sans doute, et c'est un motif pour que nous lui consacrons un chapitre, mais nous ne partageons pas l'opinion de Rondelet, à l'égard de la supériorité qu'il paraît vouloir lui accorder sur celui de Philibert Delorme.

La figure 9 de notre planche CV représente la coupe d'un comble construit suivant ce système. Elle est copiée sur celle que Rondelet a comprise dans la planche CXX de son *Art de bâtir*; elle est supposée convenir à un comble de 9^m,75 de largeur extérieure.

La figure 13 est la projection horizontale d'un comble construit suivant ce système.

La hauteur du comble est égale à la moitié de sa largeur : le comble, néanmoins, n'est pas en plein cintre, il forme une espèce d'ogive; et la flèche de chaque arc d'ogive est le septième de sa corde; ainsi, *d e* est le septième de *a b*. Les centres des arcs sont en *m* et *n*.

Les courbes principales sont espacées de 0^m,812; elles sont réunies par des liernes entaillées à mi-bois placées à 1^m,624 l'une de l'autre sur le développement des courbes. Les intervalles entre ces courbes et les liernes sont divisés par des entretoises et des fausses courbes pour servir de soutien au lattis extérieur pour la couverture, et au lattis intérieur pour le lambrisage ou ravalement en plâtre. Les entretoises sont assemblées à tenons carrés dans les courbes principales; les fausses courbes sont assemblées à entailles.

La figure 6 est un détail d'une partie de courbe vue comme celle de la figure 9.

La figure 7 est une projection de la courbe vue sur son épaisseur.

La figure 8 présente deux projections d'une pièce des fausses courbes.

La figure 10 montre deux projections d'une lierne.

L'échelle des longueurs, dans ces quatre figures, est la même que celle de la figure 9, mais l'échelle des largeurs est double.

Les courbes ont 0^m,315 sur 0^m,032.

Rondelet a vu cette charpente exécutée, et a trouvé qu'elle avait une grande solidité.

Il se peut qu'effectivement cette charpente avait une grande solidité; mais il est douteux que cette solidité soit comparable à celle du système de Philibert Delorme.

Les courbes du système Lacase sont très-étroites; elles sont entées à fil de bois: leur flexibilité est très-grande, tandis que la stabilité des hémicycles de 0^m,216 de largeur est parfaite.

Les liernes du système de Philibert Delorme, en traversant les hémicycles, ne les affaiblissent nullement; au contraire, dans le système Lacase, les entailles à mi-bois des assemblages et les traits de Jupiter réduisent de moitié la largeur et la force des courbes.

Quant à l'économie, le volume de bois consommé par les courbes de M. Lacase est évidemment égal à celui nécessaire au système de Philibert Delorme: car, d'une part, si les courbes du système Lacase sont de trois huitièmes moins larges que les hémicycles, elles sont plus serrées dans le même rapport; ainsi, le volume du bois pour les courbes est le même. Pour les liernes, il est plus grand. Les liernes sont en même nombre que pour les hémicycles, et elles sont plus larges. La sujétion des assemblages est certainement la même. Il ne faut donc pas élever le système de M. Lacase au-dessus de celui de Philibert Delorme, qui lui est assurément fort supérieur sous le rapport de l'invention; et tout ce qu'on peut dire en faveur du système Lacase, c'est qu'il est utile quand on n'a ni planches ni grands bois, et qu'on ne peut disposer que de solives. Mais il demeure constant qu'il serait préférable d'employer les liernes suivant la méthode de Philibert Delorme plutôt que d'affaiblir les courbes par les profondes entailles à mi-bois.

Rondelet donne la règle suivante pour fixer l'épaisseur et la longueur des courbes du système Lacase. L'épaisseur doit être d'autant de lignes que le comble a de portée mesurée de dehors en dessus, et leur largeur doit être double de la dimension trouvée. Ainsi, pour un comble de 30 *piets*, 9^m,75, l'épaisseur des courbes doit être de 30 *lignes*, 0^m,068, et leur largeur 60 *lignes*, 0^m,136.

Rondelet remarque avec raison que ces sortes de combles acquerraient une plus grande solidité si on ne donnait aux courbes leur largeur, ainsi déterminée, qu'au milieu de leur longueur, pour la réduire, par exemple, à 4 *pouces* ou 0^m,11 par en haut, et la porter à 10 *pouces* ou 0^m,27 à la naissance, comme nous en avons représenté une d'après lui, fig. 11. Ce perfectionnement augmenterait la consommation du bois, mais il serait utile.

CHAPITRE XXIX.

CHARPENTES EN BOIS PLATS.

Après que MM. Legrand et Molino eurent tiré de l'oubli le système de Philibert Delorme, peu d'architectes et d'ingénieurs ont manqué les occasions d'en faire des applications, et de le combiner de mille manières dans les nouvelles constructions. Cependant quelques-uns, s'affranchissant de cette espèce de mode, ont construit des combles en bois plats.

En dégageant; par ce moyen, les charpentes ordinaires d'un cube de bois superflu et même nuisible, ils ont pu leur donner de plus grandes portées et une élégance que l'emploi des pièces carrées ne comportait pas. L'économie du bois fut bientôt poussée si loin, que, dans quelques charpentes, les fermes ne furent plus composées que de madriers de champ, et l'on ne pensa plus à faire la part des détériorations par vétusté. La charpente de la salle des séances du Corps législatif, à Paris, dont la description termine ce chapitre, est un des plus heureux exemples de cette innovation, que l'on peut regarder, sous plus d'un rapport, comme un progrès de l'art aussi marquant que le fut l'invention de Philibert Delorme; car en comparant les combles à hémicycles, suivant la méthode de cet architecte, à ceux en bois plats, on trouve, même pour des portées assez grandes, que ceux-ci sont moins coûteux, par la raison que les hémicycles en planches consomment beaucoup de bois à cause du développement des arcs et du déchet et qu'ils exigent une main-d'œuvre considérable.

Au surplus, Philibert Delorme n'avait en vue que de construire à *plus petits frais* qu'au moyen des lourdes charpentes usitées de son temps; et sa méthode est encore aujourd'hui très-utile, lorsqu'on n'a que des planches ou des bois courts qu'on peut débiter. Mais lorsqu'il est aisé de se procurer de longues pièces, les charpentes dans lesquelles ces grandes pièces pourront être employées dans toute leur longueur seront toujours préférables.

Dans les charpentes en bois plats, les bois sont employés de champ, c'est-à-dire que des deux dimensions de leurs équarrissages, d'ailleurs fort différentes, la plus grande est placée verticalement.

Ces sortes de charpentes, fort légères, sont surtout employées pour les constructions qui ne doivent pas avoir une très-longue existence. On en a fait cependant quelquefois usage dans des monuments pour lesquels on n'aurait dû établir que des charpentes d'une durée séculaire.

§ 1. *Petite Ferme sur Tirant.*

Fig. 5, pl. LXXXV, ferme sur tirant en bordages de sapin. La légèreté et l'économie de ce système l'ont fait, pendant un temps, prévaloir; on en voit un grand nombre en France et en Hollande.

§ 2. *Hangar des Messageries, rue du Bouloy.*

Ce système a été employé par M. Pfeiffer, maître menuisier, pour couvrir un hangar de 19 mètres de large; à l'établissement des messageries de M. Simon, rue du Bouloy, à Paris. Au lieu d'une moise pendante de chaque côté, il en a établi deux qui divisent la longueur du tirant en cinq parties égales, sans égard au point occupé par le bas du poinçon; les bordages ont 0^m,081, d'épaisseur sur 0^m,325 à 0^m,406 de large, les fermes sont écartées de 1^m,95 de milieu en milieu.

La figure 10 de la planche CVII est le dessin d'une des fermes de ce hangar.

La figure 11 est une projection sur le plan du toit, de l'assemblage des pannes avec les arbalétriers.

La figure 12 est la projection du même assemblage sur un plan perpendiculaire, ayant pour trace la ligne *cd*, fig. 10.

La figure 13 est une projection horizontale de l'assemblage des liernes avec l'entrait.

La figure 14 est une projection du même assemblage sur un plan vertical perpendiculaire à ceux des projections fig. 10 et 13, et ayant pour trace la ligne *ef*, fig. 10.

La fig. 15 est la projection des petites moises, sur une coupe perpendiculaire au plan de la projection principale, et ayant pour trace *hk*, fig. 10.

§ 3. *Bâtiment de Filature, à Rouen.*

La fig. 1 de la pl. LXXXVIII représente une ferme sur cintre d'un comble,

pour un bâtiment de filature construit à Rouen. Cette disposition joint à la légèreté et à l'économie l'avantage de laisser à l'atelier qu'elle couvre la plus grande hauteur que permet le développement de la couverture.

§ 4. *Ferme en Hollande.*

La fig. 1 de la pl. LXXXV est le dessin d'une ferme d'un comble exécuté en Hollande; la poussée est détruite par une croix de Saint-André. Lorsque nous parlerons de l'emploi du fer, au chapitre XXXIV, nous verrons que c'est cette disposition qui a été imitée dans la charpente des docks de Londres.

§ 5. *Hangar, rue Hauteville, à Paris.*

Fig. 3, pl. LXXXV, ferme suivant le même système, pour une portée plus étendue, exécutée en bordage de plats-bords de sapin, rue Hauteville, à Paris. Kraft, qui donne cette figure, propose, comme perfectionnement, d'y ajouter un tirant soutenu par une tringle de fer verticale, attachée à la moise-poinçon; c'est une addition qui change complètement le système dont le but est précisément la suppression du tirant; il est d'ailleurs tout à fait inutile, cette charpente, telle qu'elle est, étant très-solide.

Le seul changement qu'on pourrait y introduire dans les applications qui en seraient faites, ce serait la suppression des aisseliers *m* et des poteaux *n*, en faisant porter les sablières immédiatement sur le mur.

§ 6. *Hangar, rue Saint-Denis, à Paris.*

La figure 9, même planche, est un fragment du dessin d'une ferme d'un comble du même genre, exécuté rue Saint-Denis, à Paris. L'aisseleur *m* est ici bien entendu, vu que le comble est porté sur des piliers en bois et d'assemblage, au lieu de murs; ces aisseleurs assurent la stabilité des piliers élevés sur des dés en pierre.

§ 7. *Manège de Chambières.*

On a construit à Metz, vers 1822, pour l'usage des troupes logées aux casernes Chambières, un manège dont le comble est en bois plats, mais qui n'a cependant pas la légèreté que comporte ce genre de construction.

Ce manège a 18^m,32 de largeur sur une longueur de 49^m,72, mesures prises dans œuvre; ce comble est construit tout en bois de chêne. Sa

hauteur est de 11^m,70, la hauteur de l'arc est de 9^m,80, à cause du talus en genouillère qu'on a donné intérieurement au pied des murs; l'arc, dans chaque ferme, a 19^m,30 de portée; il prend sa naissance à environ 2^m,18 du sol, sur des sablières posées de chaque côté du manège sur une large retraite du mur à la hauteur de 1^m,80.

L'arc est composé de deux parties égales qui forment une ogive en s'assemblant dans un poinçon, et chaque partie est taillée dans des madriers de 0^m,16 d'épaisseur, entés à trait de Jupiter. Les arcs ont environ 0^m,30 de largeur; ils s'assemblent à leur naissance, de chaque côté, dans une jambe de force de 0^m,32 sur 0^m,28 d'équarrissage, un peu au-dessus des sablières. Six lourdes moises les combinent de chaque côté avec les arbalétriers, chaque moise a 0^m,40 de long sur 0^m,20 d'épaisseur.

Une moise-entrait réunit les deux parties des courbes à environ un mètre au-dessous du sommet de l'arc.

Les arbalétriers ont 0^m,16 d'épaisseur.

Ce comble est composé de 18 fermes écartées l'une de l'autre de 2^m,60; les pans du toit font des angles de 35° avec l'horizon. Nous ne donnons pas de dessin de ce comble, qui ne nous paraît point un modèle à présenter à nos lecteurs.

§ 8. *Salle du Corps législatif, à Paris.*

Le comble de l'ancienne salle d'assemblée du Corps législatif (Conseil des Cinq-Cents), au palais Bourbon, à Paris, construit en 1797, par M. Guillaume, maître charpentier, sur les dessins de M. Gisors, architecte, est une des plus grandes charpentes en bois plats qu'on ait exécutées. Nous en donnons, pl. CVII, les dessins qui nous ont été communiqués lors de la construction.

La fig. 1 est le plan général de la salle demi-circulaire.

La fig. 2 est une coupe, sur la ligne *a b*, du plan, dans laquelle on voit le profil de la charpente portée sur un plafond soutenu par les colonnes d'une galerie demi-circulaire suivant le contour de la salle (1).

La fig. 3 est le profil d'une des 22 fermes composant ce comble, compris

(1) On n'a point marqué sur le plan, fig. 1, la distribution des banquettes circulaires. On s'est contenté d'y projeter la forme de l'ouverture de la lanterne qui donne accès au jour.

Le fauteuil du président était au milieu de la niche, faisant face aux banquettes.

celles appliquées au mur, soutenues par le grand cintre s'élevant sur le diamètre du demi-cercle.

La fig. 4 est un fragment de plan montrant la distribution des poteaux et de l'enrayure sur lesquels les fermes prennent naissance.

La fig. 5 est la projection horizontale de deux fermes f , g , pour montrer leurs liaisons pour le moyen des liernes m , m' , m , et leurs assemblages dans les poinçons k .

La fig. 6 représente les croix de Saint-André qui s'assemblent dans les moises h , pour les maintenir dans leur position. Ces croix de Saint-André sont projetées sur les faces développées d'une pyramide, inscrite dans un cône dont la surface conique aurait la ligne $x y$ pour génératrice, et la verticale, passant par le centre de la salle, pour axe.

La fig. 7 est un fragment du développement de la surface cylindrique de la lanterne sur laquelle les poinçons k sont projetés, ainsi que les faitages u et sous-faitages circulaires v , et les croix de Saint-André x qui entretiennent la stabilité de cet assemblage.

La fig. 8 est un des arbalétriers f ou g , vu sur une de ses faces.

La fig. 9 est une lierne m' vue sur une de ses faces.

Le comble était couvert en ardoises sur un lattis en planches posées de manière que le profil de leur bois suivait la pente du toit. L'intérieur de ce comble était plafonné et présentait une zone demi-circulaire d'une surface sphérique.

Ce comble était sans doute fort élégant et fort léger, mais les bois renfermés entre le lattis et le plafond étaient privés d'air et sujets à se pourrir, par l'effet de l'eau, que les moindres dégradations de la toiture laissaient pénétrer.

CHAPITRE XXX.

CINTRES EN MADRIERS COURBÉS SUT LEUR PLAT.

INVENTION DE L'AUTEUR (1).

Nous avons déjà fait remarquer, page 188 de ce volume, que malgré le mérite de l'invention de Philibert Delorme, et la beauté des combles construits suivant son système, lorsqu'on peut se procurer de grandes pièces de bois, les charpentes dans lesquelles ces grandes pièces peuvent être employées dans toute leur longueur sont, sous le rapport de l'économie, de beaucoup préférables au système de Philibert Delorme.

C'était précisément le cas dans lequel on se trouvait lorsqu'il s'est agi, en 1819, de construire le manège de la caserne de Libourne.

Il avait été décidé que ce manège occuperait le milieu de l'aile gauche qui devait être élevée sur les fondations faites en 1764 (2). Les dimensions et la décoration du bâtiment, les épaisseurs des murs, ainsi que la forme du toit, étaient données, puisque cette aile devait être en tout pareille à celle qui lui est parallèle de l'autre côté de l'esplanade de la caserne. La largeur du manège ne pouvait être que de 21 mètres; sa longueur fut fixée à 48 mètres. On proposait un comble suivant la méthode de Philibert Delorme. Le pays offre des pins de 12 à 14 mètres de longueur; des sapins encore plus longs y sont apportés des Pyrénées ou fournis par le commerce du Nord; mais une charpente construite avec ces grands bois, selon l'usage ordinaire, exigeait des entrails, et, placée à une grande élévation, elle devait laisser au-dessous d'elle de hautes murailles d'une nudité désagréable; quelque légèreté qu'on pût lui donner, elle n'aurait certainement pas satisfait la vue autant qu'un berceau formé d'hémicycles.

(1) Le colonel Emy.

(2) Le plan de cette aile est représenté fig. 4 de la planche CIX. Les emplacements des fermes y sont marqués par des lignes ponctuées; la coupe en travers du bâtiment est figurée par masses, sous le n° 1 de la même planche.

Ainsi, malgré le déchet du bois, pour débiter ces longues pièces en planches, et la dépense de la main-d'œuvre, une charpente à la Philibert Delorme pouvait avoir la préférence à cause du meilleur effet qu'on devait en attendre pour l'intérieur du manège. Ce fut à cette occasion que je cherchai à composer une charpente dans laquelle les bois fussent employés dans toute leur longueur, qui eût toute la solidité nécessaire, autant d'élégance que celle de Philibert Delorme, et qui n'exigeât pas une consommation de bois aussi considérable. Celle que je conçus satisfit à toutes ces conditions, même au-delà de mon attente, et je la proposai en 1819; mais ce ne fut qu'en 1825 que j'obtins l'autorisation d'en faire l'essai à Marac, près Bayonne, sur un hangar de 20 mètres de largeur et de 57 de longueur. Le succès de cette première charpente a déterminé à l'exécuter en 1826 sur le manège de Libourne, pour lequel je l'avais originairement proposée. Depuis, elle a été adoptée par le comité des fortifications, pour les manèges dépendants du service militaire; il en a été exécuté à l'École de cavalerie de Saumur, à Poitiers, à Aire, à Metz, etc.

La Société pour l'encouragement de l'industrie nationale a aussi donné son approbation à ce système, sur un rapport qui lui a été fait par M. Vallot, ingénieur en chef des ponts et chaussées, au nom de son comité des arts mécaniques (1).

L'exécution de mon système d'arc ne présente rien de difficile qui soit au-dessus de la capacité d'un charpentier ordinaire; le travail en est beaucoup plus facile que celui des hémicycles en planches. Il ne s'y trouve que des pièces droites. Tous les assemblages des charpentes dans lesquelles entrent ces arcs, sont faits par entailles, sans aucun tenon ni mortaise; si ce n'est au faitage, comme dans toutes les autres charpentes. Enfin, les procédés de construction et de levage sont si simples, qu'une douzaine d'ouvriers, parmi lesquels se trouvaient les deux tiers de simples manœuvres, a toujours suffi pour construire et mettre au levage deux fermes par semaine, aux charpentes de Marac et de Libourne; et même le levage des fermes a été plus prompt à Libourne qu'à Marac.

On a construit des charpentes avec de gros arcs ou cintres formés de plusieurs pièces superposées. Mais ces pièces ont de forts équarrissages; elles sont en général très-courtes; leur réunion est faite à crans et leur courbure est donnée à la hache ou au feu. Ces sortes de cintres, origi-

(1) Ce rapport est inséré dans le *Bulletin* de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale du mois de mars 1831. avec une planche.

nairement employés pour des ponts, ont été introduits par Krafft au sujet des perfectionnements qu'il proposait pour diverses charpentes, notamment pour celle du projet de manège de Moscou, et celle de la salle d'exercice de la même ville, dont nous avons donné les dessins, pl. XCIII et XCIV. Mais il leur conservait tout leur poids et leur grande poussée. Les cintres du couvage des arches du pont aux fruits de Melun ont quelque rapport avec mes arcs (1); mais ils en diffèrent essentiellement par leur diamètre qui n'est que de 6 mètres et demi; par leur objet, et surtout par les procédés employés pour les courber, les bois ayant été préalablement amollis par l'action de la vapeur dans une couche de fumier rendu bouillant au moyen d'un four construit exprès.

On n'avait pas encore construit ou proposé des arcs légers, d'une grande portée, faits avec des bois longs et minces dont la flexibilité permet une courbure facile et prompte, sans le secours du feu, et dont la raideur, convenablement réglée, a la propriété de maintenir la forme de la charpente et de détruire la poussée, ou de s'étendre jusqu'aux limites de cette poussée, pour n'en exercer ensuite aucune sur les murs (2).

Il serait impossible de courber, même au feu, des bois de même équarrissage que mes arcs, d'un seul brin de fil et du même développement. En supposant qu'on pût courber des pièces seulement de la moitié de la longueur des feuilles, il y aurait encore le désavantage d'avoir des joints qui occuperaient tout l'équarrissage, fit-on même ces joints à trait de Jupiter, assemblage qui n'a pas à beaucoup près la force qu'on lui suppose, tandis qu'au moyen des feuilles que j'emploie, les joints, en très-petit nombre et réduits à n'être qu'une petite partie de l'équarrissage des arcs, sont tellement répartis que la réunion de ces feuilles équivaut à un cintre d'une seule pièce, et peut résister aux mêmes efforts.

(1) Nous donnons un dessin de ce couvage, fig. 71 de la planche CXXI.

(2) Nous avons appris, par le rapport fait à la Société d'encouragement, que M. de Saint-Phar, ingénieur en chef des ponts et chaussées, que la science a perdu vers 1830, avait proposé en 1811, pour être construit sur le Rhin, devant Mayence, un pont sur piles en pierres, dont le plancher devait être soutenu par des arcs formés de planches ordinaires posées à plat, maintenues par des moises et par des liens en fer. M. de Saint-Phar se proposait de n'employer que des planches ordinaires qui n'ont pas à beaucoup près la longueur des pièces de bois dans lesquelles elles sont débitées pour le commerce, et il ne s'agissait dans son projet que d'arcs très-surbaissés et n'ayant par conséquent que très-peu de courbure. Ce projet d'ailleurs ne fut point approuvé par le conseil des ponts et chaussées, et il ne reçut aucune exécution. Un modèle fut déposé à la galerie de l'École des ponts et chaussées, mais l'auteur n'en publia aucune description.

Les combinaisons de mon système peuvent être variées à l'infini par le nombre, la forme et la portée des arcs; enfin la force de ces arcs peut être augmentée suivant le besoin, sans rien changer au système, sans nuire à l'élégance ni à la hardiesse de la construction, par la simple addition de feuilles sur la totalité des arcs ou sur les parties où des épreuves, toujours indispensables dans de grandes constructions, en auront fait reconnaître la nécessité.

Je crois que le système d'*arcs en madriers courbés sur leur plat* peut faire faire un très-grand pas à l'art de la charpenterie, sous le rapport de la légèreté des constructions, sous celui de la très-grande portée des fermes et sous celui de l'économie. J'hésitai néanmoins à le proposer, en 1819, ne pouvant me persuader que depuis Philibert Delorme, c'est-à-dire depuis près de trois siècles, l'art eût marché à côté d'une idée si simple sans la saisir. Le plein succès des essais faits à Marac et à Libourne me fit présumer qu'ils seraient désormais plus d'une fois imités; et en effet, des charpentes suivant mon système ont été exécutées avec un égal succès à Paris, dans des établissements particuliers, à Saumur, dans différentes usines de nos départements, et en Belgique.

§ 1. *Charpente du hangar du génie, à Marac, près Bayonne.*

Chaque ferme, fig. 9, pl. CVIII, du hangar de Marac, est composée d'un arc en demi-cercle, de deux jambes de force verticales, de deux arbalétriers, de deux aisseliers et d'une petite moise horizontale, tangente à l'arc et formant entrain; le tout est lié par des moises normales à l'arc. L'espace entre le sol et l'arc est libre. L'arc dont il s'agit est la pièce principale de chaque ferme, et c'est dans sa construction que résident la force et les autres avantages de ce système de charpente.

Les hémicycles de Philibert Delorme sont, ainsi que nous l'avons vu, formés de trois cours au moins de planches de 12 à 13 décimètres de longueur, posées bout à bout et de champ; mes arcs, au contraire, résultent de madriers longs et étroits, appliqués les uns sur les autres, comme le sont les feuilles ou lames d'un ressort de voitures, et courbés en demi-cercle sur leur plat, par leur seule flexibilité.

Les moises normales sont entaillées, ainsi que les faces planes des arcs, de 1 centimètre de profondeur, de façon qu'elles forment des assemblages de 2 centimètres, qui ont le double objet de tenir les arcs serrés et de former des arrêts qui empêchent le glissement des madriers les uns sur les autres. Deux recouvrements de 1 centimètre sur les deux faces de l'arc, sont entaillés dans les joues des moises, pour empêcher des éclats

aux entailles des madriers. Les détails de ces assemblages se trouvent planche CX, fig. 12, 13, 14, 15 et 16.

Les jambes de force sont éloignées des murs de 10 centimètres, mais les trois premières moises de chaque côté sont prolongées au-delà des jambes de force, et pénètrent de 0^m,20 dans des cases de 0^m,30 de profondeur, réservées dans la maçonnerie. Cette disposition n'a pas pour but de profiter de la résistance des murs, car la charpente n'exerce aucune poussée sur eux; il s'agit seulement de maintenir les fermes dans des plans verticaux, et d'empêcher le balancement dans le sens de la longueur du bâtiment.

Entre les moises, qui ne pouvaient être plus multipliées sans augmenter inutilement le bois de la charpente, sont des liens en fer et des boulons qui pressent les feuilles de l'arc et qui s'opposent au glissement de ces feuilles; les premiers, en forçant les surfaces à s'appliquer dans toute leur largeur, et les autres en formant, en outre de la pression, des points d'arrêts intérieurs, parce qu'étant cylindriques et chassés à coups de masse dans des trous percés très-justes, ils ne laissent aucun jeu aux feuilles qu'ils traversent perpendiculairement.

Ces boulons ont environ 18 millimètres de diamètre, ils sont espacés de 0^m,80, et l'expérience prouve qu'ils ne coupent point le fil du bois d'une manière nuisible, comme quelques personnes l'avaient craint. On voit que les moises, les liens et les boulons, rendent les feuilles d'un arc pour ainsi dire solidaires les unes des autres, et qu'ils s'opposent avec une grande force à leur redressement. Dans un arc de cinq feuilles et de 20 mètres d'ouverture, le développement de l'extrados a 60 centimètres de plus que celui de l'intrados, le redressement est par conséquent impossible.

Dans le commencement du travail, les charpentiers appréhendaient cependant l'effet d'un redressement subit lorsqu'on abandonnerait un arc à lui-même; mais plusieurs expériences faites à Marac et à Libourne ont prouvé que la tendance des arcs à se relever est très-faible. Des arcs assemblés seulement avec leurs liens, sans moises ni boulons, abandonnés subitement à eux-mêmes sur le chantier, ne se sont ouverts que de 16 centimètres, c'est-à-dire d'environ 8 centimètres à chaque extrémité. Un seul homme empêchait sans effort ce faible écartement; ainsi la poussée propre d'un arc résultant de sa force de ressort est à peu près nulle.

Dans chaque ferme, trois grands triangles sont formés, extérieurement à l'arc, par les jambes de force, les arbalétriers, les aisseliers et la moise-entrait. Leur combinaison avec l'arc et les moises normales compose un réseau autant invariable que le permet la flexibilité des bois et le jeu des

assemblages; mais, dans ce système, et notamment dans la charpente du hangar de Marac, dont il s'agit ici, c'est principalement la roideur ou le ressort des arcs qui produit l'invariabilité de forme et qui détruit entièrement la poussée des reins sur le haut des murs.

Les feuilles ou madriers qui entrent dans la composition d'un arc ont 55 millimètres d'épaisseur, 13 centimètres de largeur et 12 à 13 mètres de longueur. Deux madriers et demi bout à bout, à joints carrés, suffisent au développement de l'arc. Les joints sont distribués de façon qu'aucun de ceux d'un rang ne répond à un autre joint d'un autre rang, et que tous sont couverts par les moises normales.

Les feuilles ne peuvent avoir chacune que trois joints, le plus souvent elles n'en ont que deux; il ne peut y avoir que dix à douze de ces joints dans un arc.

Toutes les pièces des fermes ont 13 centimètres d'épaisseur comme l'arc et les arbalétriers, excepté les jambes de force, dont l'épaisseur a été portée à 20 centimètres.

Les fermes sont entretenues à la distance de 3 mètres de milieu en milieu par les moises-liernes horizontales, qui embrassent les moises pendantes, n° 4 (1), par la faite, par la moise sous-faite, et enfin par les pannes.

La figure 8, de la planche CV, est une portion de la coupe du hangar suivant sa longueur; elle contient les projections des fermes, des liernes de la ferme sous-faite avec les croix de Saint-André, et de tous les bois de la toiture.

La charpente du hangar de Marac devant servir d'étude pour celles qu'on voudrait exécuter ailleurs, je me suis imposé, dans son exécution, deux conditions auxquelles quelques personnes avaient prétendu que mon système d'arcs ne pourrait pas satisfaire. La première était que la charpente n'exerçât par ses reins aucune poussée sur les murs, et la seconde, qu'elle pût porter une couverture très-pesante, sans rien perdre de son élégance et de sa simplicité. Dans cette vue, je fis construire quelques fermes pour les soumettre à l'épreuve d'une charge plus forte que celle qu'elles auraient à supporter, et déterminer ainsi, par l'expérience, le nombre de feuilles dont il faudrait composer les arcs. Je fis d'abord ces arcs de cinq feuilles, comme j'avais projeté ceux de la charpente du manège de Libourne, pour laquelle je n'avais pas à m'occuper de la poussée, vu l'extrême épaisseur que les murs devaient avoir; des obstacles que j'expliquerai plus loin, m'obligèrent à renoncer au levage des fermes tout

(1) Les moises sont comptées de chaque côté, à partir de la plus rapprochée de la naissance.

assemblées. Je fis alors construire pour le levage, pièce à pièce, un échafaud volant, que je fis établir près du chantier, afin de m'en servir pour monter et maintenir verticalement, avec de petits cordages horizontaux, chaque ferme que je voulais éprouver.

De larges et épais plateaux en bois de chêne, simplement posés sur le sol bien battu et au même niveau, remplacèrent les sablières, pour supporter la ferme mise en expérience. Dès que cette ferme était abandonnée à elle-même, elle se surhaussait de quelques centimètres. On suspendait alors par de longs cordages aux emplacements des pannes et au poinçon, des plateaux en bois, distants du sol d'environ 50 centimètres. Ces plateaux étaient chargés en même temps, mais peu à peu, avec du lest en fer coulé, jusqu'à mille kilogrammes sur chacun; ce qui faisait onze mille kilogrammes pour la charge de la ferme éprouvée, poids qui excédait de plus d'un quart celui de la partie du toit qu'une ferme devait supporter, dans l'hypothèse que les tuiles seraient imbibées d'autant d'eau qu'elles en peuvent absorber.

Dans ces expériences, les arcs n'étaient serrés que par les moises et les liens en fer, parce que, pour me réserver un moyen d'augmenter leur force, j'avais différé de placer les boulons jusqu'après les épreuves que je me proposais, et seulement lorsque les fermes seraient à leurs places.

A mesure qu'on plaçait la charge, la ferme s'abaissait; au bout de vingt-quatre heures, la courbure de l'arc fut vérifiée au moyen d'un rayon en bois de 10 mètres de longueur, garni en fer à ses deux bouts, l'un desquels portait sur un axe horizontal en fer, établi avec précision sur la tête d'un pieu au niveau des naissances. Il fut reconnu que le poinçon s'était abaissé d'environ 12 centimètres, mais que la courbure de la partie supérieure de l'arc, comprise entre les moises n° 7, n'avait pas sensiblement changé, quoiqu'elle dût avoir une tendance à s'aplatir, puisque l'abaissement du poinçon annonçait un affaissement général de l'arc. On trouva constamment des deux côtés, entre la moise n° 7 et la naissance correspondante, une augmentation de courbure, dont le maximum répondait à la moise n° 4.

L'arc s'écartait en cet endroit d'environ 5 centimètres du demi-cercle décrit avec le rayon de 10 mètres. L'arbalétrier suivait le mouvement de l'arc; depuis le poinçon jusqu'à la moise n° 7, il demeurait droit, mais depuis la moise n° 6 jusqu'à la jambe de force, il devenait un peu arqué en dessus. Une légère courbure en forme de doucine raccordait, entre les moises n° 6 et 7, la partie supérieure qui s'était abaissée, avec la partie inférieure qui avait été soulevée. L'aisselier se courbait tant soit peu; et la jambe de force se ressentait du mouvement de l'arc, elle surplombait en dehors de 5 à 6 centimètres.

Les naissances des arcs reposaient toujours sur les plateaux, et ces plateaux eux-mêmes n'avaient pas changé de place; ainsi le diamètre des arcs n'avait pas varié; il se manifestait seulement de chaque côté, entre les feuilles, depuis les moises n° 7, un petit glissement, dont le maximum répondait aux naissances; il n'excédait pas 3 millimètres d'une feuille à une autre. Ce glissement résultait de l'augmentation de courbure.

Les tangentes, aux naissances des feuilles, surplombaient un peu vers le dehors comme les jambes de force, de façon que les feuilles et les jambes de force, au lieu de reposer, comme avant la charge, carrément sur leurs abouts, portaient sur les arêtes extérieures de ces abouts, mais elles portaient toutes. Il faut remarquer encore que les arcs n'étaient pas boulonnés.

Ces résultats prouvent qu'un arc n'exerce par lui-même aucune poussée à sa naissance, et que, par l'effet de la charge d'épreuve, la poussée aux mêmes points, très-faible d'ailleurs, tendrait à renverser les murs au-dessous de la naissance, plutôt en dedans qu'en dehors de l'édifice. Ainsi la seule poussée qui méritât attention dans les fermes mises en expérience, répondait, de chaque côté, au maximum de l'augmentation de courbure de l'arc, parce qu'elle était transmise, par les moises n° 4, sur les têtes des jambes de force, et qu'elle pouvait se reporter sur le haut des murs.

Je conclus de ces expériences que la roideur des arcs ne devait pas être la même dans tous leurs points; qu'il fallait la renforcer, dans les parties dont la courbure avait augmenté le plus, par des feuilles supplémentaires, de façon que le ressort de ces parties étant en équilibre avec la charge du toit, leur courbure ne pût augmenter ni diminuer. J'obtins ce résultat en ajoutant, des deux côtés de chaque arc, une feuille sur une partie de l'extrados, et deux feuilles dans une partie de l'intrados. Les différentes parties d'un arc furent ainsi portées au nombre de feuilles et aux largeurs suivantes :

SAVOIR :

De la naissance à la moise n° 1.	7 feuilles; 0 ^m ,385 de largeur.
De la moise n° 1 au lien placé entre les moises n° 6 et 7.	8 0 ^m ,440
Du même lien à la moise n° 9	6 0 ^m ,330
Entre les moises n° 9 voisines du poin- çon.	5 0 ^m ,275

J'ajoutai en outre des renforts aux jambes de force et des sous-arbalétriers convenablement entaillés dans des espaces que j'avais réservés pour cet objet.

Les feuilles additionnelles dont je viens de parler ne devant pas avoir d'aussi grandes longueurs que les feuilles principales, elles ont été faites en bois de chêne, qui s'est trouvé presque aussi docile à la courbure que le bois de sapin, quoique ces feuilles eussent la même épaisseur de 0^m,055. Le bois de chêne a ici l'avantage de ne pas se laisser refouler comme le sapin, par les têtes et les rondelles d'écrou des boulons, ni par les liens en fer, ce qui permet une pression beaucoup plus forte.

Les fermes ainsi renforcées, sans m'écarter de mon système (1), furent remises en expérience; elles reçurent la même charge d'épreuve, sans s'abaisser, ni changer de forme et sans manifester aucune poussée sur les jambes de force. Satisfait de ce résultat, j'ai fait construire toutes les autres fermes sur ce modèle, et la force des arcs a encore été augmentée considérablement par les boulons distribués entre les moises et les liens, parce que, pendant les épreuves, le glissement des feuilles ne s'était fait remarquer que dans ces parties des arcs.

C'est dans cet état qu'une de ces fermes est représentée fig. 9, pl. CVIII, et qu'elles sont exécutées.

J'avais proposé d'établir le chantier pour la construction des fermes à l'extrémité du bâtiment et à la hauteur des naissances des arcs, afin que chaque ferme pût être conduite horizontalement à son emplacement et mise au levage tout assemblée, en la faisant tourner autour de son diamètre. Une opération semblable a pu être pratiquée à Libourne, parce que les murs ont été terminés avant de commencer la charpente; mais à Marac, où le temps manquait, la charpente dut être préparée pendant qu'on élevait les maçonneries, et je fus obligé de placer le chantier hors de la bâtisse; ce qui m'a forcé de renoncer au levage en grand, à cause de la difficulté de transporter les fermes pendant un trajet assez long, et de les passer au-dessus des murs sans rompre ou au moins fatiguer beaucoup leurs assemblages.

Le chantier a été établi sur un sol dressé et battu de niveau. Après avoir décrit sur la terre un demi-cercle de 20 mètres de diamètre, représentant l'intrados de l'arc de cinq feuilles, et tracé les principales lignes d'une ferme, on a enterré et maintenu par de forts piquets vingt-quatre

(1) On voit, dans quelques charpentes modernes, des tringles horizontales en fer servir de tirants vers les reins des arcs pour contenir la poussée des fermes; c'est un moyen que je m'étais interdit, comme étranger au problème qu'il s'agissait de résoudre.

racineaux de 25 centimètres d'équarrissage, dirigés au centre de l'arc et distribués entre les emplacements des moises et des liens en fer; deux seulement étaient établis au-delà des naissances.

On a cloué sur ces racineaux un plancher assez étendu pour recevoir l'épure ou ételon dont le centre a été fixé par un axe vertical en fer, planté sur la tête d'un pieu. Cette épure tracée, on a cloué, avec de longues broches, au-dessus des racineaux, des poutrelles de 20 centimètres d'équarrissage pour supporter toutes les pièces des fermes et élever au-dessus du plancher le gabarit destiné à courber les feuilles des arcs.

Ce gabarit, formé de madriers en bois de chêne, assemblés avec des boulons, en croisant les bouts à mi-bois, a été attaché par de grosses vis sur les poutrelles, préalablement dégauchies entre elles et de niveau. On a taillé circulairement l'intérieur et l'extérieur sur place, en observant à l'extérieur les ressauts nécessaires pour les feuilles supplémentaires de l'intrados de l'arc, qui s'arrêtent aux moises n^{os} 3 et 9. On n'a fait dans l'intérieur que deux ressauts de chaque côté, l'un vers la moise n^o 4, et l'autre vers le sommet, de façon que la largeur du gabarit était d'environ 25 centimètres sur tout son développement.

A partir du gabarit, le dessus des poutrelles a été élégi de 25 millimètres, pour faire coïncider, dans le même plan horizontal, le milieu de l'épaisseur du gabarit avec le milieu de l'épaisseur de l'arc et des diverses pièces de la ferme que ces poutrelles devaient supporter. L'épaisseur du gabarit a été fixée à 8 centimètres, pour ne pas gêner le travail des entailles des moises dans l'arc, ni l'établissement de ces moises qui ne laissent entre leurs jumelles qu'un intervalle de 9 centimètres. Les extrémités des six premières poutrelles de chaque côté répondant aux établissements des jambes de force, ont été élégies de 35 millimètres de plus ou en somme de 6 centimètres, parce que, comme on l'a déjà vu, les jambes de force ont 20 centimètres d'épaisseur, tandis que les autres pièces et l'arc n'ont que 13 centimètres.

Les extrémités du gabarit se prolongeaient en ligne droite d'environ 8 décimètres, au-delà de chaque naissance, et étaient renforcées chacune par un madrier fixé sur les dernières poutrelles, afin de pouvoir attacher plus solidement les bouts des premières feuilles des arcs.

Sur la surface cylindrique du gabarit, contre laquelle devait s'appliquer l'intrados des arcs, on fait des entailles d'environ 1 décimètre de largeur et 1 centimètre de profondeur, répondant aux emplacements des liens en fer, pour recevoir l'épaisseur de ces liens, afin qu'on pût les placer à mesure qu'on formerait les arcs. On a fait aussi sur la même surface de petites entailles de 2 centimètres de largeur et de profondeur, pour le passage des boulons des moises.

Ce gabarit était, au surplus, exactement pareil à celui placé dans l'échafaud de levage, dont nous donnons les détails fig. 1 et 2, pl. CXXV.

On a procédé, pour la construction de chaque arc, comme il suit :

Les feuilles devant former l'épaisseur d'un arc, à l'une des naissances, ayant un peu plus que la longueur nécessaire pour fournir aux abouts, ont été assujetties et serrées ensemble, contre le gabarit, par deux liens provisoires en fer. On avait préalablement engagé les feuilles dans les liens destinés à unir l'arc avec le pied de la jambe de force correspondant. Toutes les feuilles ont ensuite été pliées peu à peu, mais ensemble, et appliquées au gabarit, au moyen de sergents en fer, à deux branches et à vis, fig. 5 et 6, pl. CV. Lorsque les feuilles étaient parvenues à un contact parfait avec le gabarit, sur un développement de 2 ou 3 mètres, on remplaçait les sergents par des liens en fer, fig. 1 et 2, ou par des liens en bois, fig. 3 et 4, assujettis avec des coins doubles, et l'on serrait alors les propres liens de l'arc, dans lesquels on avait soin d'engager les feuilles, avant qu'elles fussent appliquées sur le gabarit.

Chaque arc a été continué ainsi jusqu'à l'autre naissance, en ajoutant de nouvelles feuilles au bout de celles qui atteignaient les emplacements des moises, choisis à l'avance, pour la distribution des joints. Ces joints, dirigés au centre de l'arc, étaient ajustés à mesure qu'ils se présentaient.

On aurait pu commencer les arcs par le sommet et les conduire des deux côtés à la fois, mais la méthode que je viens de décrire a paru la plus commode aux ouvriers; je n'ai trouvé aucun inconvénient à la leur laisser suivre.

Quand un arc était terminé, on lui assemblait les jambes de force, préparées à l'avance et entaillées suivant la courbure de l'extrados. Les autres pièces de la ferme étaient ensuite assemblées, en suivant les procédés usités pour toute autre espèce de charpentes, si ce n'est que les entailles des moises, sur la face inférieure de l'arc, ont été faites sans le détacher du gabarit, ce qui a néanmoins été exécuté avec facilité et précision, l'arc et le gabarit se trouvant suffisamment élevés au-dessus du chantier.

Dès qu'une ferme était achevée, on coupait ses abouts à 5 centimètres au-dessous de ses naissances; on la démontait ainsi que son arc, et toutes les pièces, préalablement numérotées, étaient déposées à part pour être remontées dans le même ordre, lors du levage.

N'ayant pu exécuter le levage des fermes en grand, j'avais préparé, pour cette opération, un échafaud volant, facile à monter et à démonter, et qui portait un gabarit vertical, exactement pareil à celui qui servait à la construction des fermes, sur le chantier horizontal. Cet échafaud, dont j'ai déjà parlé au sujet des épreuves des fermes, était composé de deux

bâti de pièces méplates en bois de pin, égaux et parallèles, écartés de 2 mètres, présentant six étages d'entrails destinés à porter des planches de service, pour atteindre à toutes les hauteurs de la charpente pendant l'opération du levage.

La figure 2, planche CXXV, est une projection verticale de cet échafaud. La figure 1 est une coupe, par un plan vertical, perpendiculaire au premier plan des projections.

Le gabarit était boulonné de champ, au milieu de l'intervalle des deux bâtis, sur des pannes dont les bouts étaient reçus dans les entailles d'autant de chantignoles attachées par des boulons sur les entrails.

On établissait cet échafaud en travers du hangar, au niveau des sablières des arcs, sur quatre forts chevalets répondant aux moises verticales des bâtis. De longs arcs-boutants et des haubans fortement tendus empêchaient le balancement dans le sens de la longueur du bâtiment (1). Lorsque cet échafaud était monté solidement et ajusté de façon que le plan vertical, passant par le milieu de l'épaisseur du gabarit, répondît exactement à l'emplacement d'une ferme, on procédait au levage. Toutes les pièces de l'arc et toutes les autres pièces de cette ferme étaient remontées dans le même ordre et par les mêmes moyens que sur le chantier horizontal.

Après avoir fortement serré les assemblages, on ôtait les vis à têtes carrées qui attachaient le gabarit aux pannes; celles-ci étaient ensuite enlevées en détachant les chantignoles. On ôtait alors les liens qui retenaient le gabarit à l'arc, et ce gabarit, divisé en cinq parties par des joints inclinés hors de coupe, était dégagé des moises normales.

La ferme se trouvant ainsi abandonnée à elle-même, reposant seulement dans ses pas entaillés sur les sablières, se surhaussait d'environ 10 centimètres par l'effet du ressort de son arc. C'est alors qu'on boulonnait cet arc, opération qu'il était important de faire avant de charger les fermes d'aucune pièce de la charpente du toit.

J'aurais pu construire les arcs immédiatement à leurs places, sur le gabarit vertical de l'échafaud, et leur assembler ensuite les moises et les autres pièces qui auraient été préparées sur l'épure horizontale. Il en serait peut-être résulté quelque économie de temps et plus de perfection dans le travail; mais cette idée m'est venue trop tard.

En attendant que les moises-liernes horizontales et le faitage pussent être placés, les fermes posées étaient entretenues à leurs distances de 3 mètres au moyen de tringles provisoires, clouées de l'une à l'autre, et

(1) Les haubans ne sont point représentés sur les dessins.

de cales placées latéralement dans les cases réservées dans les murs pour recevoir les prolongements des moises n^{os} 1, 2 et 3.

Le levage d'une ferme étant terminé, l'échafaud était démonté pour être remonté à l'emplacement de la ferme suivante. Le changement de place de cet échafaud était très-facile et très-prompt, les pièces des bâtis n'étant assemblées que par des entailles et des boulons.

Quelques jours après que la couverture en tuiles creuses a été posée, la courbure des arcs a été vérifiée; on a trouvé que la charpente s'était abaissée régulièrement, que les arcs avaient repris leur forme circulaire, que les jambes de force étaient verticales et à 10 centimètres des murs; et que les bouts des moises n^{os} 1, 2 et 3 étaient aussi à 10 centimètres du fond des cases.

Il a dès lors été prouvé que la charpente portait seulement sur ses naissances, et qu'elle n'exerçait aucune poussée contre les murs, dont elle était complètement isolée; résultat auquel j'avais voulu arriver et sur lequel je comptais tellement que je n'avais donné aux murs qui s'élèvent au-dessus des naissances, que l'épaisseur de 60 centimètres, nécessaire à leur propre stabilité.

Les cales des moises n^{os} 1, 2 et 3 ont été remplacées dans les cases par des remplissages en maçonnerie, seulement sur les parements des murs, afin de laisser pour toujours le vide de 10 centimètres, entre les bouts des moises et les fonds des cases.

Au bout de quelques mois, après que les bois, déjà fort secs, eurent été exposés aux courants d'air qui traversaient le hangar, avant que ses fermetures fussent closes, on a encore vérifié la courbure des arcs; elle n'avait aucunement varié. On a de nouveau, et pour la dernière fois, serré les écrous de toutes les ferrures.

Le plan du hangar est représenté fig. 7, pl. CVIII, sur la même échelle que le plan du manège de Libourne fig. 5, pl. CIX. Les emplacements des 18 fermes y sont marqués par des lignes ponctuées.

La coupe en travers suivant les lignes *mn* du plan, et par masse, est dessinée, pl. CIX, fig. 3, en regard de celle du manège de Libourne, fig. 1.

§ 2. *Charpente du manège de la caserne de Libourne.*

Les fermes de la charpente exécutée en 1826 sur le manège de Libourne, au nombre de 14, ne diffèrent de celles du hangar de Marac qu'en ce que les murs entre lesquels elles sont comprises étant fort épais et garnis de gros contre-forts, elles n'ont pas dû satisfaire à la condition

de n'exercer aucune poussée. Les arcs ont une épaisseur uniforme de cinq feuilles sur tout leur développement, et pour leur donner un aspect plus léger et les isoler, j'en ai écarté les aisseliers.

La fig. 2 de la pl. CIX représente une coupe en travers sur la ligne *a b* du plan, fig. 5; la hauteur de la planche n'ayant pas permis de comprendre la totalité de cette coupe, la figure 4 contient ce qui lui manque depuis la naissance jusqu'au sol.

Le diamètre de l'intrados des arcs est de 20^m,925, le rayon moyen étant de 10^m,60. Les arcs sont par conséquent un peu plus grands que ceux de la charpente du hangar de Marac, parce que la distance dans l'œuvre des murs du manège s'est trouvée de 21 mètres. Les naissances sont à 7^m,60 au-dessus du sol, pour que la charpente atteigne à la hauteur du comble de la caserne. L'écartement des fermes est de 3^m,20.

Le toit, au lieu d'être composé de pannes et de chevrons, n'est formé que de pannes qui reçoivent immédiatement le lattis dont les planches sont dirigées suivant la ligne de pente du toit, au lieu de l'être suivant ses horizontales. Cette disposition, fort usitée dans les départements de l'ouest a plusieurs avantages; elle consomme moins de bois, parce que la position inclinée des planches les rend capables de supporter un plus grand poids, ce qui permet d'écarter les pannes beaucoup plus que ne le sont ordinairement les chevrons, et comme ces pannes sont peu chargées, on peut leur donner des équarrissages moins forts ou de plus grandes portées, d'où il suit que les fermes ont moins de charge ou qu'on peut les écarter davantage. Enfin les joints des planches ne retiennent point l'eau qui peut y parvenir accidentellement; mais cette disposition de lattis n'est pas praticable pour les toits en ardoises, parce que les planches, en variant de largeur par l'effet de l'humidité, feraient fendre les ardoises qu'on attache ordinairement avec deux clous. (*Voyez* tome I^{er}, page 434.)

Le chantier a été établi à 7^m,65 au-dessus du sol, 5 centimètres au-dessus des sablières, sur un plancher qui occupait toute la largeur et seulement la moitié de la longueur du manège. L'épure a été construite sur ce plancher; le diamètre de l'arc était tracé parallèlement à la longueur du manège, parce que la largeur d'une ferme entre les abouts des arbalétriers, est plus grande que celle de l'édifice, M. Chayrou, capitaine du génie, qui a été chargé de l'exécution de cette charpente, n'ayant pas pu avoir à temps connaissance des procédés que j'ai suivis à Bayonne, s'est servi pour courber les feuilles des arcs, d'une enrayure composée de vingt poutrelles disposées en rayons, espacées de façon qu'elles ne se trouvassent pas sous les emplacements des moises et des

liens des arcs; ces poutrelles dépassaient de 70 cent. le demi-cercle représentant l'intrados des arcs, et elles étaient entretenues dans leurs positions par deux cours de pièces transversales formant deux polygones, l'un de huit et l'autre de neuf côtés, inscrits dans des demi-circonférences de 8 mètres et de 8 mètres et demi de rayon. Les deux extrémités de cette enrayure étaient liées par un tirant de 23 mètres de longueur, placé à 1 décimètre au-dessous du diamètre de l'arc.

Des entailles de 6 centimètres de profondeur et 35 centimètres de longueur avaient été pratiquées dans le dessus des extrémités des poutrelles et du tirant, à 10^m,462 du centre, longueur du rayon de l'intrados des arcs, pour recevoir les madriers que l'on y retenait, avec des coins, à mesure qu'on les courbait, un à un, au moyen de sergents en fer à vis et de liens en corde tordus.

Cette enrayure était établie sur l'épure et posée de niveau sur de fortes cales, afin d'élever la face inférieure de l'arc en construction d'environ 40 centimètres au-dessus du plancher. On conçoit que cela donnait toute facilité pour mettre en place les moises, les liens et les boulons; cependant le gabarit que j'ai employé à Marac, quoique en apparence moins simple, est bien préférable, par la raison qu'il présentait, aux madriers ou feuilles de l'arc en construction, une surface continue, qui les forçait à une courbure uniforme, ce qui a permis d'employer du bois très-sec et débité longtemps à l'avance, sans y faire ni éclats ni gerçures; tandis que l'enrayure dont on a fait usage à Libourne est sujette à occasionner des jarrets aux contacts avec les points d'appui, et même des ruptures, si les madriers ne sont pas nouvellement débités ou entretenus dans un état de fraîcheur suffisante.

Il est aussi préférable de courber les madriers qui forment l'épaisseur d'un arc, tous à la fois plutôt que un à un, parce qu'on évite les difficultés que l'on rencontre pour maintenir les madriers déjà courbés, pendant qu'on en courbe un nouveau. Enfin, les madriers sont mieux maintenus contre un gabarit continu, par des liens qui les embrassent complètement, que par des coins qui ne les pressent que sur un de leurs bords.

A mesure qu'une ferme était construite, elle était dégagée en démontant l'enrayure, et mise de suite au levage. L'enrayure était ensuite assemblée de nouveau à la même place lorsqu'il s'agissait de la construction d'une autre ferme.

L'opération du levage a eu lieu, pour chaque ferme, au moyen de trois chèvres établies près du diamètre de l'arc. L'une de quinze mètres de hauteur vis-à-vis le centre; les deux autres, de 12 mètres et demi de hauteur, à 7 mètres de chaque côté de la première. La ferme au levage étant arrivée dans sa position verticale, après avoir tourné autour de son

diamètre en s'appuyant sur ses abouts, on lui a fait faire un quart de conversion en faisant mouvoir les chèvres avec les leviers embarrés sous leurs épars et de façon qu'elles conservassent leur alignement.

Si le plancher eût été continué dans toute l'étendue du manège, on aurait pu conduire de cette manière les fermes à leurs emplacements; mais ce plancher n'en occupant que la moitié, il a fallu recourir à une autre manœuvre, d'ailleurs plus commode. Dès qu'une ferme était parvenue à sa position perpendiculaire à la longueur du manège, elle était soulevée pour placer chaque naissance sur un petit chariot portant sur les sablières. Les chèvres étaient alors abandonnées, et la ferme, maintenue verticale par les haubans, était conduite jusqu'à son emplacement, avec des palans, agissant sur les chariots, et avec des leviers, appuyés sur le haut des murs et embarrés sous les extrémités des arbalétriers.

Les figures 8, 9, 10 et 11 de la planche CX, qui montrent les détails d'assemblage des fermes du manège de Libourne, présentent les projections d'un des chariots dont il s'agit, et la poulie dépendant du palan servant à faire mouvoir le chariot.

Des quatorze fermes dont se compose le comble, sept seulement, répondant à la moitié de la longueur du manège dans laquelle ne s'étendait pas le chantier, purent être conduites de cette manière immédiatement à leur place, mais un plus grand nombre aurait fini par obstruer tellement l'espace au-dessus du chantier, qu'il n'aurait plus été possible de travailler au levage. On a pour lors accumulé les sept autres fermes verticalement, les unes contre les autres, au milieu de la longueur du manège, et lorsque le chantier n'a plus été nécessaire, chaque ferme a été conduite à son emplacement définitif au moyen des palans, chariots, haubans et leviers dont il vient d'être question. Cette manœuvre était d'une exécution si facile et si prompte, qu'une seule journée a suffi pour mettre en place les sept fermes qui avaient été groupées verticalement.

Au moment d'opérer le levage d'une ferme, on garnissait les naissances de frettes, pour les garantir du froissement des leviers pendant la manœuvre. Ces fermes étaient enlevées dès que la ferme était arrivée à sa place, provisoire ou définitive, pour servir à telle autre ferme qu'il s'agissait de mouvoir. L'une d'elles est représentée aux fig. 9, 10 et 11, pl. CX.

On avait eu aussi le soin de lier entre elles les deux naissances de la ferme au levage par un palan, afin d'empêcher leur écartement; mais on a observé que cette précaution était inutile; le palan n'a jamais roidi, et il se relâchait lorsqu'on hissait la ferme pour la placer sur les chariots ou

dans ses pas. Enfin, pour diminuer la flexibilité de la ferme au levage, et prévenir tout effort dans les assemblages pendant la manœuvre, on fixait, par des nœuds de corde fortement serrés, trois files de pièces de bois en travers des moises.

Au lieu d'élever le chantier à la hauteur des sablières, on aurait pu l'établir sur le sol et ne lui donner que l'étendue nécessaire pour l'épure d'une ferme. L'opération du levage aurait pu être simplifiée aussi et rendue plus facile en substituant aux trois chèvres une grande grue double, présentant trois points de suspension, et montée au centre du manège, sur une enrayure à pivot et roulettes. Cette grue aurait servi à dresser les fermes au levage, à les hisser à la hauteur des sablières, à les tourner dans leur position perpendiculaire à l'axe du manège, et à les poser sur des chariots qui auraient toujours servi à les conduire à leur emplacement.

§ 3. *Comparaison avec d'autres charpentes.*

Les charpentes de Marac et de Libourne ne laissent aucun doute sur la bonté des arcs en madriers. Dans la première, l'élasticité du bois est employée à détruire entièrement la poussée des reins sur les murs, et cette poussée est réellement nulle, quoique chaque ferme soit chargée de quatre-vingts quintaux métriques (8000 kilogr.). Quant à la seconde, la très-grande épaisseur des murs dispensait de satisfaire à la même condition : néanmoins sa poussée est extrêmement faible, puisque le seul encastrement de la moitié de l'épaisseur des blochets, dans le haut des murs, suffit pour lui résister. Les bouts des trois premières moises, de chaque côté, qui ne touchaient pas les murs avant qu'on commençât à poser la couverture, ne les ont pas touchés davantage après que cette couverture a été achevée, quoique le poids supporté par chaque ferme surpassât quatre-vingt treize quintaux métriques (9300 kilogr.); ce qui prouve que les moises verticales, faisant l'office de jambes de force, n'éprouvent aucune poussée.

Suivant le projet qui avait été fait d'un comble, selon la méthode de Philibert Delorme, pour le manège de Libourne, il aurait fallu, pour soutenir 3^m,20 courants de comble, quatre hémicycles de trois planches et au moins un de quatre planches. Cette portion de berceau, répondant à une des fermes exécutées, aurait donc exigé quatre cent seize morceaux de planches et quatre cents joints, non compris ceux des liernes et des clefs, plus nombreux et plus compliqués.

Ainsi le système de Philibert Delorme exige un bien plus grand nombre de morceaux et de joints que le mien, puisque, comme on l'a déjà vu, un de mes arcs, répondant au même espace couvert, n'est composé que de quinze morceaux, et n'a que douze joints au plus.

Les hémicycles de Philibert Delorme donnent lieu à un grand déchet de bois, soit à cause de l'inclinaison des joints qui doivent être en coupe tendant au centre, soit pour réduire les planches aux longueurs nécessaires, ou pour rejeter les parties défectueuses; tandis que les feuilles ou lames de mes arcs sont débitées, sans perte, dans des pièces de bois aussi grosses et aussi longues qu'on peut se les procurer.

Dans le système de Philibert Delorme, chaque joint coupe le fil du bois de 12 en 12 décimètres, dans toute la longueur d'un cours de planches, et occupe au moins le tiers et souvent la moitié ou les deux tiers de l'épaisseur de l'hémicycle.

Dans mes arcs les joints sont espacés d'environ 3 mètres, et ils occupent tout au plus le cinquième de la largeur de l'arc, qui conserve toujours les quatre cinquièmes de son équarrissage, en plein bois de fil, non compris, dans la charpente du hangar de Marac, les feuilles supplémentaires qui font que, dans les parties où elles se trouvent, les joints n'ont que le huitième de l'épaisseur de l'arc. D'où il suit que, dans les hémicycles de Philibert Delorme, la somme des surfaces des joints équivaut à vingt fois la surface de l'équarrissage d'un hémicycle, et que dans mon système, la somme des joints n'est tout au plus que le double de l'équarrissage d'un arc.

C'est à cette grande différence dans le nombre, l'espèce et la distribution des joints et à l'immense avantage de mettre à profil le fil du bois, sur le développement des arcs, qu'est due la force extrême de mon système, qui a permis de donner une grande légèreté aux fermes et de les espacer de 3 mètres à Marac, et de 3^m,20 à Libourne tandis que les hémicycles en planches ne sont ordinairement espacés, suivant Philibert Delorme, que d'environ 7 décimètres les uns des autres.

Mes fermes sont donc beaucoup plus fortes que les hémicycles en planches, et cependant l'équarrissage des arcs n'est pas le double de celui des hémicycles. Aussi y a-t-il une économie de plus de moitié sur le cube du bois. On conçoit que les boulons et les liens en fer de mes arcs ne peuvent, à beaucoup près, absorber cette économie ni celle que l'on fait sur la main-d'œuvre. On doit de plus remarquer que les combles de Philibert Delorme sont couverts en ardoises, tandis que mes deux charpentes de Marac et de Libourne portent des toits en tuiles creuses qui sont extrêmement pesants.

Si l'on construisait, avec mes arcs, une charpente de même portée, pour être couverte en ardoises ou en bardeau, on pourrait avec la même force d'arc, porter l'écartement des fermes à plus de 4 mètres, et à 5 et même à 6 mètres, si l'on devait couvrir en cuivre ou en zinc.

Il faudrait, pour achever de faire voir la supériorité de mes arcs sur les autres systèmes, pouvoir leur comparer un certain nombre de constructions, dans des circonstances absolument les mêmes, sous le rapport des portées et des matériaux de couverture. A défaut de parallèles de cette sorte, voici un tableau des principales dimensions, des cubes et des charges, pour les charpentes de Marac et de Libourne, pour un comble à hémicycles en planches, pour le comble du manège de Chambières et pour une charpente disposée suivant la méthode ordinaire. L'examen de ce tableau suffira pour convaincre que mon système joint à l'élégance la force et l'économie.

TABLEAU COMPARATIF.

CHARPENTES.	DIMENSIONS INTÉRIEURES des bâtiments.			NOMBRE DES FERMES.	ÉCARTEMENTS DES FERMES.	CUBES.			CHARGES		OBSERVATIONS.	
	Largeur.	Longueur.	Surface.			D'UNE FERME.	DE LA totalité des FERMES pour chaque COMBLE.	DES sablières et des TOITS.	TOTAUX des CHAR-PENTES	PAR FERME.		PAR MÈTRE courant d'arbalétriers.
I. Hangar de Marac, pl. CVIII.....	20m	57m	1140m	18	m. 3	m. c. 5,613	m. c. 101,034	m. c. 64,324	m. c. 165,358	kil. 8800	kil. 400	Les principales feuilles des ardoises sont en bois de sapin du Nord, les feuilles supplémentaires et toutes les autres pièces de la charpente sont en bois de chêne, le lattis est en bois de pin des Landes, la couverture est en tuiles creuses. Les fermes sont en bois de sapin du Nord; les liernes, les pannes et le lattis sont en bois de pin des Landes, la couverture est en tuiles creuses. Cette charpente avait été projetée pour le manège de Libourne. Ces calculs sont faits d'après le dessin lithographié, joint à un circulaire du ministre de la guerre du 25 janvier 1823. La charpente est en bois de chêne; la couverture est en ardoises. Cette charpente avait été projetée pour le manège de Libourne.
II. Manège de Libourne, pl. CIX..	21	48	1008	14	5,20	5,495	76,930	48,500	125,430	3775	417 86	
III. Suivant Philibert de Lorme...	20	57	1140	82	0,70	2,740	224,684	8,625	233,999	1555	67 60	
IV. Manège de Chambières, à Metz (Voyez page 191.)	18	49 72	895	18	2,60	8,150	146,700	55,960	202,660	6500	260	
V. Comble ordinaire	20	57	1140	13	4,071	9,223	119,899	73,104	192,903	12535	397	

Il résulte de ce tableau :

1° Que le cube de la charpente de Libourne, n° 2, est moindre que celui de la charpente de Marac, n° 1, par la raison que l'épaisseur des murs du manège de Libourne a permis, comme je l'ai déjà fait remarquer, de ne pas s'occuper de la poussée de la charpente et de lui donner plus de légèreté, tandis qu'à Marac les reins des fermes ne devant exercer aucune poussée contre les murs, il a fallu détruire entièrement cette poussée en donnant plus de force de ressort aux arcs; ce qui, d'un autre côté, a produit une grande économie sur les épaisseurs des maçonneries;

2° Que les cubes de ces deux charpentes sont moindres que chacun des cubes des trois autres charpentes qui leur sont comparées;

3° Que, de ces trois dernières charpentes n°s 3, 4 et 5, c'est celle qui est disposée suivant la méthode ordinaire, n° 5, qui présente le cube le plus faible, et que c'est celle selon le système de Philibert Delorme, n° 3, qui exige le cube le plus fort.

Des calculs exacts ont fait voir que la portée de 14 mètres environ est la limite où la dépense se trouve être la même pour une charpente ordinaire et pour la mienne; que, pour des portées moindres, il y a économie à employer les charpentes ordinaires, et que, pour des portées plus grandes, l'économie est dans l'emploi de mon système.

Dans bien des cas, surtout lorsqu'il s'agira de se débarrasser des entrants toujours fort gênants, on emploiera encore avec avantage, sur des bâtiments de petite largeur, mes cintres en madriers, courbés sur leur plat, auxquels on pourra donner une légèreté sans exemple.

§ 4. *Projet d'un comble de 40 mètres de portée (1).*

La difficulté de composer des charpentes d'une très-grande portée a pu forcer quelquefois de restreindre la largeur de certains édifices. Elle ne paraît cependant pas avoir arrêté les constructeurs du Nord. La salle d'exercice de Darmstadt a 42^m,63 de largeur dans œuvre; celle de Moscou a 45^m,71 de large (voyez pages 133 et 137). Les fermes de leurs combles sont les plus grandes qui existent; on ne peut pas néanmoins les regarder comme des solutions satisfaisantes du problème, car elles ont donné lieu

(1) J'ai fait ce projet en 1827, pour un manège d'évolution de 100 mètres de longueur qui devait être construit à l'école royale de cavalerie à Saumur. Depuis, on y en a construit un qui a été couvert par une charpente suivant le modèle de celle de Libourne, mais de 23 mètres de portée.

à d'énormes consommations de bois qu'on ne pouvait se permettre que dans le Nord, et quelques-uns des tirants de celle de Moscou s'étaient en outre rompus.

La méthode de Philibert Delorme donne le moyen de faire de très-grands combles. La coupole de la halle aux blés de Paris, qui avait 39^m,266 le diamètre, était même une très-belle solution de la difficulté par cette méthode, mais seulement pour le cas le plus favorable, vu qu'il résultait de la sphéricité du comble que les liernes et les planches de revêtement de l'intrados et de l'extrados formaient des anneaux horizontaux qui détruisaient la poussée (1). C'est ce qui avait permis de donner très-peu d'épaisseur et de largeur aux planches.

Il n'en est pas de même d'un comble en berceau; ses hémicycles, quoique en planches, ont une poussée analogue à celle d'une voûte, et ils exigent des tirants ou des murs capables de leur résister; d'ailleurs la portée des hémicycles est en quelque sorte limitée par les largeurs et le nombre des planches qu'on peut raisonnablement employer à leur construction. Philibert Delorme n'a point indiqué d'hémicycles plus grands que 150 pieds, environ 49 mètres de diamètre, pour un comble en coupole. Il n'a déterminé les dimensions des planches que pour des berceaux de 108 pieds (35^m,08), il les a fixées à 2 pouces (0^m,054) d'épaisseur, 18 pouces (0^m,487) de largeur et 4 pieds (1^m,299) de longueur.

Mes arcs résolvent complètement la difficulté, puisqu'on peut les composer de tel nombre de feuilles qu'on voudra, débiter ces feuilles à telles largeurs et épaisseurs qui seront jugées nécessaires, et, par conséquent, donner à ces arcs tels équarrissages et telles portées que la largeur d'un bâtiment exigera. Ainsi on pourra désormais, par leur moyen, construire avec une grande économie des combles d'une élégance remarquable et d'une largeur presque sans limite.

Je donne ici deux projets de charpentes à grande portée, conçues suivant mon système.

Dans le premier projet, fig. 5, pl. CX, deux arcs composent une ferme. L'arc intérieur, au lieu d'être un demi-cercle, est une anse de panier surbaissée pour diminuer la hauteur du comble et favoriser l'emploi de la roideur de l'arc dans les parties décrites avec le petit rayon, afin de détruire la poussée vers les reins; vu que ces parties ayant plus de courbure, elles peuvent acquérir plus de roideur que n'en aurait un arc en plein cintre de même équarrissage et de même diamètre que l'anse de panier.

(1) Voyez page 173.

L'arc extérieur est tracé du même centre que la partie supérieure de l'anse de panier; des moises normales à l'intrados lient les deux arcs réunis sur un développement de 30 degrés des deux côtés de la moise-poinçon, et qui s'écartent au delà pour former des empâtements et empêcher les vibrations qui auraient infailliblement lieu dans le plan de la ferme, si elle ne se composait que d'un seul arc, quelque fort qu'il fût.

Au lieu d'un cintre à trois centres pour l'arc intérieur, on pourrait employer une ellipse, courbe beaucoup plus gracieuse; l'arc extérieur serait toujours prolongé en portions de cercle jusqu'aux naissances.

Des croix de Saint-André sont placées entre les parties où les arcs sont séparés; des madriers de champ, convenablement découpés, remplacent ces croix dans les espaces les plus resserrés. Des liens et des boulons en fer sont distribués entre les moises sur tout le développement des deux arcs, et leur sont communs dans la partie où ils se trouvent réunis. Vu la grande portée des arcs, les liens et les boulons doivent être multipliés. Deux liens doivent occuper le milieu de l'intervalle entre deux moises pour agir ensemble et opérer une plus forte pression. Quant aux boulons, ils doivent être rapprochés des moises, parce que celles-ci ne peuvent, dans une aussi grande charpente serrer suffisamment les feuilles des arcs dans le sens de leur épaisseur.

Les feuilles ou lames de l'intrados et de l'extrados de chaque arc sont supposées en bois de chêne pour mieux résister à la pression des ferrements; les autres feuilles seraient en bois de sapin.

Les pannes portent sur l'extrados de l'arc extérieur, excepté vers le faite, où elles sont soutenues par des portions d'arbalétriers pour former des pans nécessaires à l'écoulement des eaux. Les chevrons sont supposés en madriers refendus cloués sur les pannes suivant la courbure du toit; cette courbure leur donne une grande force et permet de les faire plus faibles que s'ils étaient droits.

Des moises-liernes entretiennent les fermes verticales à la distance de 5 mètres pour une couverture en ardoises et de 6 mètres pour une couverture en cuivre.

Les naissances sont reçues dans des moises horizontales qui reposent sur des pieds-droits ou contre-forts, réunis par de petits murs pour former une clôture. Suivant la destination du bâtiment, ces contre-forts peuvent être noyés dans un second mur d'enceinte intérieur ou rester apparents, ou même être divisés en piliers, de manière à former une galerie autour de l'édifice, auquel cas les fermes pourraient être accouplées deux à deux à 4 mètres de distance sur chaque pilier. Les autres travées auraient encore 5 à 6 mètres de largeur.

La figure 4 de la planche CX est le plan d'un des côtés du manège, pour faire voir la disposition des murs et des piliers.

J'ai indiqué en lignes ponctuées, d'un côté du profil, une disposition applicable au cas où l'on manquerait d'espace pour les contre-forts, ou pour celui où l'on n'aurait aucune destination utile à donner à la galerie dont je viens de parler. L'arc extérieur s'assemblerait dans une jambe de force un peu inclinée, et le mur unique substitué aux contre-forts s'élèverait jusqu'à la rencontre de l'égout du toit.

On aurait à déterminer par l'expérience, comme je l'ai pratiqué pour la charpente du hangar de Marac, le nombre de feuilles dont il faudrait composer les arcs, et les parties où il serait nécessaire d'ajouter des feuilles supplémentaires.

§ 5. *Projet d'un comble de 100 mètres de portée.*

Dans ce second projet, une ferme, fig. 6, pl. CX, est composée de deux arcs entiers et de deux portions d'arcs intermédiaires. Pour une portée plus grande on pourrait employer un plus grand nombre d'arcs. Ces arcs sont plus rapprochés vers le poinçon que vers les naissances, afin de décharger autant qu'il est possible, le sommet du comble. Des écharpes sont placées entre les moises; les autres assemblages et fourrures sont semblables à ceux du projet précédent.

Les naissances sont prises dans des moises horizontales qui forment empâtement et reposent également sur des contre-forts dans lesquels on pourrait faire telles distributions de galeries et d'étages que la destination de l'édifice comporterait.

La figure 7 est une portion de plan montrant la disposition des contre-forts.

Dans le cas où l'on n'aurait aucun usage à donner à ces distributions, on pourrait supprimer les moises horizontales, fixer les naissances des arcs aux premières moises normales entières et monter la maçonnerie, en plan incliné, jusqu'à ces mêmes moises, ce qui diminuerait beaucoup l'étendue des contre-forts.

On pourrait aussi assembler les arcs dans les jambes de force, indiquées en lignes ponctuées. J'ai enfin ponctué sur la droite une dernière disposition, dans laquelle des arcs formant une ogive très-surbaissée, feraient l'office d'arbalétriers. Des écharpes, placées comme dans la figure principale, compléteraient le système dont le sommet pourrait avoir la plus grande légèreté, malgré l'écartement vertical des arcs, parce qu'on

n'y emploierait pour les moises normales et les écharpes que des bois de faible équarrissage, tandis que l'on conserverait plus de force pour les pièces rapprochées des naissances.

Malgré l'étendue de ces sortes de fermes, après avoir été construites sur un gabarit horizontal, élevé à la hauteur des naissances, elles peuvent être conduites horizontalement à leurs emplacements sur des cours de poutrelles établies au même niveau, et être mises au levage au moyen de chèvres manœuvrées ensemble.

Vu la grande portée de ces charpentes, on ne doit point chercher à les disposer de façon que la roideur de certaines parties des arcs détruise la poussée, parce qu'il faudrait donner aux combles une hauteur démesurée. Mais mon système d'arc a ici une nouvelle propriété, c'est qu'on peut au moment du levage faire subir à chaque ferme une extension au moins égale à celle qu'elle éprouverait chargée du poids du toit, si rien ne s'opposait à sa poussée. Cette extension, qu'on ne pourrait risquer dans aucun autre système de charpente, ne doit inspirer aucune crainte de rupture dans mes arcs, vu que, d'une part, les feuilles sont très-fortement liées sur tout leur développement, et, en second lieu, parce que des expériences préliminaires serviraient à déterminer le nombre des feuilles dont il faudrait composer les arcs pour satisfaire à ce nouveau mode de résistance.

Ces sortes de fermes seraient construites sur un gabarit cintré et raccourci en conséquence de l'extension que les arcs devraient prendre sous la charge, d'après des expériences faites sur une ferme d'épreuve.

Chaque ferme, garnie à sa naissance de moises provisoires, serait mise au levage sur des sablières aussi provisoires, indépendantes des murs, et qui permettraient aux naissances de glisser par l'effet de l'extension que produirait une charge équivalente au poids de la partie de toit correspondante. Après que le maximum d'extension serait opéré, les moises horizontales définitives seraient placées aux naissances et la ferme serait posée sur ses sablières définitives.

La charge provisoire serait enlevée à mesure qu'on la remplacerait par la charpente du toit et la couverture. Le comble n'exercerait alors aucune poussée sur les murs (1).

(1) Dans leur rapport à l'Académie des sciences imprimé en tête du mémoire de M. le capitaine du génie Ardant, récemment publié (*Études théoriques et pratiques sur l'établissement des charpentes à grandes portées*), MM. les commissaires ont fait remarquer au sujet des cintres, qu'un écartement factice de leurs naissances, produit par le moyen d'une force auxiliaire, avant leur mise en place, peut diminuer et même annuler complètement leurs poussées sur les murs. Je revendique la priorité de l'indication de ce moyen, que j'ai consigné, dès 1828, dans les paragraphes ci-dessus qui sont, ainsi

§ 6. *Application aux Dômes et Coupoles.*

Le système des cintres en madriers courbés sur leur plat est applicable aux dômes et aux coupoles, quelle que soit l'étendue de leur diamètre, non-seulement sans perdre aucun des avantages qui lui sont propres, mais en profitant de ceux dus à la forme sphérique de ces constructions.

La figure 2, pl. CX, est une coupe par un plan vertical suivant la ligne df de la fig. 3; elle représente la combinaison d'un arc et des liernes pour ces sortes de combles. Les liernes, composées de la réunion de plusieurs lattes, serrées par des liens en fer comme les arcs, seraient astreintes à se courber dans des plans horizontaux pour former des anneaux ou cerceaux intérieurs et extérieurs qui maintiendraient les arcs. On conçoit aisément quelle extrême légèreté on pourrait donner à ce genre de construction.

La figure 3 est une coupe horizontale d'une portion de la coupole suivant la ligne ab de la figure 2.

La figure 4 est, comme la figure 3, une coupe suivant la ligne df de la figure 3 par un plan vertical, pour montrer deux liernes isolément.

§ 7. *Petits combles.*

Le système des madriers courbés sur leur plat donne un moyen fort économique de construire des combles à surfaces courbes extérieures de petites portées. La figure 12 de la planche CV présente une ferme en tiers-point pour une construction de ce genre. Les pannes a sont portées aux points nécessités par la courbure du toit par des contre-fiches b assemblées, dans des arbalétriers g droits, en planches et formant moises. Les chevrons sont remplacés par des madriers simples r courbés sur leur plat, refendus en trois sur leur largeur. Ces madriers portent le lattis en voliges sur lequel on pose une couverture en zinc. Les centres des arcs sont en p et q .

Les madriers qui répondent aux fermes ne sont refendus qu'en deux sur leur largeur, et ils sont maintenus par des courbes x et y' , dont on fait usage dans la marine. A défaut de courbes naturelles on peut découper les bouts des madriers pour en tenir lieu, ou assembler les deux madriers r dans le poinçon, en les soutenant par deux contre-fiches z .

que la majeure partie de ce chapitre, transcrits de mon ouvrage intitulé : *Description d'un nouveau système d'arcs pour les grandes charpentes*, déjà cité tome I^{er}, dans l'introduction.

Lorsque la largeur du bâtiment n'est pas grande, on supprime les arbalétriers et les pannes; les seuls madriers courbés sur leur plat, assemblés par des courbes ou goussets x et y , le poinçon et le faitage composent la charpente du comble; dans les intervalles, les chevrons sont soutenus par le lattis.

La figure 14 est une ferme surbaissée en planches et en madriers également courbés sur leur plat. L'entrait e est composé de deux planches formant moise pour contenir des contre-fiches, b , également en planches, et qui sont perpendiculaires à la courbure du toit; ces contre-fiches maintiennent la figure circulaire de l'arc formé par un madrier courbé à plat d ; ce madrier soutient les pannes sur lesquelles sont clouées les planches du lattis courbées sur leur plat et qui portent la couverture en zinc.

La figure 15 est une coupe d'une ferme sur la ligne $m n$ de la figure 14.

La figure 16 est une coupe suivant la ligne $p q$ de la même figure 14.

Ces deux modes de toiture sont usités pour couvrir des bateaux destinés à servir d'atelier pour diverses professions qui ne peuvent être exercées que sur l'eau.

§ 8. *Charpente anglaise d'après le système des madriers courbés sur leur plat.*

La Société d'encouragement, instituée à Londres, a décerné la grande médaille d'argent à M. Holdsworth pour la construction d'une charpente par un moyen qu'il a imité de mon système en madriers courbés sur plat. Nous donnons, figure 1 de la planche XCIX, d'après M. Morisot (1), le dessin d'une ferme de cette charpente de 41^m,70 seulement de portée et sur tirant.

Les pièces de bois qui forment les arcs d'une ogives et s'assemblent dans un poinçon, sont refendues à la scie de long en trois madriers qu'on a eu soin de ne pas séparer dans le bout où chaque arc s'assemble dans le tirant.

M. Morisot suppose que ces pièces ainsi refendues ont été amollies par la vapeur pour les courber; mais cette opération n'a nullement été nécessaire, et la seule flexibilité du sapin a pu suffire. Cette méthode, qui a l'avantage assez minime de laisser le pied de la pièce intact, a le défaut d'occasionner une contraction dans les fibres du bois aux points où les traits de scie s'arrêtent et là où l'on serre fortement les lames refendues, à cause des vides que la scie a laissés dans les deux traits qu'elle a faits. Car la

(1) *La Propriété*, t. I, p. 135.

pièce qui doit former l'arc après qu'elle est refendue, présente des intervalles comme ceux représentés en *m* et *n*, fig. 4, et, lorsqu'elle est serrée par des boulons, il reste des vides, comme on en voit fig. 2, désignés par les mêmes lettres.

Il me paraît préférable, si l'on tient à laisser le pied de chaque arc intact pour former un assemblage dans le tirant, d'enlever entièrement à la scie un madrier dans le milieu de chaque pièce et de le remplacer par un autre madrier plus épais, qui remplisse si complètement le vide qu'on soit obligé de l'y introduire à coups de masse. Cette disposition est représentée fig. 3.

§ 9. Planchers.

M. Nourrisson, architecte à Tours, a combiné avec succès les bois courbés sur leur plat avec des solives dans la construction d'un plancher qu'il a exécuté, en 1837, pour le dortoir du pensionnat de madame de Lignac. Ce plancher a 14^m,50 de longueur sur 9 mètres de largeur dans œuvre ; il est chargé de 60 lits.

Les solives sont en sapin du Nord; elles ont 0^m,25 sur 0^m,22 d'équarrissage; elles sont posées de champ et écartées de 0^m,25; elles portent de 0^m,22 dans les murs, et sont reçues dans des entailles de 0^m,05 de profondeur sur des sablières de 0^m,12 et 0^m,18 d'équarrissage posées à plat qui règnent d'un bout à l'autre du plancher à l'affleurement des parois intérieures des murs. Les solives sont attachées aux sablières par des bandes de fer en forme de clameaux et clouées.

Sur les deux faces latérales de chaque solive, on a creusé une rainure de 0^m,034 de largeur et de 0^m,027 de profondeur, tracée en arc de cercle, dont la flèche est de 0^m,24; le bord extérieur de la rainure se trouve à 0^m,01 de la face supérieure de la solive.

Chaque intervalle entre les solives est rempli par une planche courbée sur son plat et dont chaque bord est reçu dans la rainure de la solive contiguë, chaque extrémité portant dans la feuillure de la sablière correspondante. Chaque entrevous présente ainsi l'aspect d'une partie de voûte surbaissée occupant la largeur de la salle.

Quatre lambourdes équidistantes s'étendent, d'une seule pièce chacune, sur toute la longueur du plancher; elles ont 0^m,22 de largeur; elles sont entaillées en dessous aux points où elles croisent les solives pour atteindre, par leurs faces inférieures, les planches courbées sur leur plat; leurs faces supérieures sont élevées de 0^m,10 au-dessus de celles des solives.

Entre ces quatre lambourdes principales, treize lambourdes de 0^m,10 sur

0^m,12 sont réparties; elles sont clouées à plat sur les solives et leurs faces supérieures sont dans le même plan horizontal que celles des quatre grosses lambourdes.

Ces dix-sept pièces reçoivent des planches de 0^m,16 de largeur, qui forment la surface du plancher.

On pourrait faire porter les bouts des planches dans les rainures de forts tasseaux assemblés avec embrèvement entre les solives à 4 ou 5 décimètres de leurs extrémités; il serait alors inutile d'attacher les solives aux sablières par des clameaux.

Des planches courbées sur leur plat et formant seules une voûte en arc surbaissé comme il conviendrait pour un plancher, à moins qu'elles ne soient fort épaisses, ou qu'on ne les ait superposées en grand nombre, ne présenteraient pas une résistance suffisante, la courbure pourrait être exhaussée dans une moitié de l'arc sans la moindre pression, par l'effet de l'excès de charge sur l'autre moitié qui pourrait s'aplatir et même changer le sens de sa courbure; dans ce cas, le plancher se romprait. Dans le plancher sans solives, que nous avons décrit page 412 de notre tome I^{er}, et fig. 3, pl. XXXVI, cet inconvénient est beaucoup diminué, malgré sa grande portée, par l'effet de la double courbure de sa surface, qui est, comme nous l'avons déjà dit, en *surface de voûte*. Mais dans le plancher qui fait l'objet de cet article, une plus grande solidité résulte de la combinaison des simples planches courbées sur leur plat avec des bois équarris, vu que ces planches forment, dans tous les points de leur développement, des véritables armatures pour les solives, et que les lambourdes répartissent uniformément la charge qu'elles supportent.

Ce plancher vibre moins qu'un plancher ordinaire: il est construit depuis quatre ans (1), et, malgré la charge des meubles de diverses espèces qu'il supporte, le poids et le mouvement du grand nombre de personnes qui le fréquentent ou qui habitent dessus, il n'a pas fléchi d'un millimètre.

(1) Emy écrivait ceci un 1841.

CHAPITRE XXXI.

SYSTÈME DE M. L. LAVES (1).

Le système de M. L. Laves, architecte du roi de Hanovre, a pour but l'économie du bois et la légèreté des charpentes, en n'employant, pour leurs parties principales, que des pièces converties en armatures par un procédé assez simple qui accroît leur roideur.

La figure 11 de la planche XCVII représente une pièce de bois disposée suivant le procédé de M. Laves et posée sur les sablières *A*, *B*, qui la supportent comme une poutre.

Cette pièce a été refendue en deux *travons* *x* et *z* par un trait de scie, dans son épaisseur verticale, sur une partie de sa longueur de *e* en *d* (2).

Les deux *travons* ont été écartés à force de coins et de calles, et pour maintenir leur écartement égal à une fois et demie l'épaisseur totale de la pièce, on a interposé entre eux un étai *h* au milieu de la longueur. Les deux étais *y*, *v* ont ensuite été placés au quart de la longueur du trait de scie, et leur hauteur a été déterminée par l'écartement des deux *travons*.

Un boulon a été placé à chaque extrémité du trait de scie pour empêcher que la pièce se fendit dans les deux extrémités où la scie n'a point pénétré.

Le *travon* supérieur résiste à l'effort de contraction des fibres, et le

(1) M. Laves a concédé à M. Kestner, consul général de Hanovre au Havre, le droit de prendre en France un brevet d'invention qui a été accordé par ordonnance du roi du 26 août 1839. M. Kestner a publié un Mémoire descriptif du système de M. Laves; in-4° avec 4 planches, imprimé au Havre, chez Alp. Lemale.

(2) Pour opérer ce sciage, la pièce a été traversée préalablement dans le sens horizontal par une mortaise dont la longueur, suivant le fil du bois, était un tant soit peu plus grande que la largeur de la lame de la scie, et sa largeur était égale à l'épaisseur de cette lame, compris la voie, afin que l'on pût, en démontant la scie de long, introduire sa lame dans le vide du trait qu'elle devait ouvrir.

travon inférieur z résiste à l'effort de traction. M. Laves donne un peu plus d'épaisseur au *travon* supérieur x qu'au *travon* inférieur z , dans la supposition que l'axe neutre (1), dans une pièce prête à se rompre, est plus rapproché de la surface inférieure que de la surface supérieure.

Cette disposition est une véritable armature; elle est appliquée par M. Laves à la construction des planchers des combles et des ponts. Lorsque l'écartement des points d'appui est trop considérable pour qu'une seule pièce suffise, M. Laves en assemble deux bout à bout après les avoir refendues.

La figure 12 est une application faite par M. Laves à une ferme d'un comble dans la supposition où sa portée est trop grande pour qu'une seule pièce suffise pour former l'entrait armé qui doit porter le poids de la toiture.

Dans la figure 13, M. Laves a appliqué ses armatures aux arbalétriers de la ferme d'un comble, les étré sillons sont remplacés par les pannes de la couverture qui traverse l'espace entre les *travons*, ce qui n'empêche pas qu'elles supportent, comme dans les autres combles, les chevrons qui affleurent sur chaque pan la partie convexe des arbalétriers.

L'entrait qui, dans cette ferme, est supporté par les poutres ordinaires d'un plancher, est une pièce droite à laquelle on ne donne que l'équarrissage nécessaire pour qu'elle résiste à la poussée du toit.

La figure 10 est une des fermes du comble du manège de M. Grünevald, à Hanovre, construit par M. Laves. Ce manège a 50 pieds du Rhin (15^m,693) de largeur et 116,36^m,407) de longueur dans œuvre.

Vu la grande portée de cette charpente, l'entrait armé de chaque ferme est composé de deux pièces. Les *travons* supérieurs sont entés bout à bout par simples entailles. Les *travons* inférieurs sont réunis par l'intermédiaire d'une moise longitudinale assemblée avec les deux *travons* par endents et boulonnée. Les étré sillons sont remplacés par des moises verticales; l'une d'elles sert de poinçon pour supporter le faitage, deux autres soutiennent les pannes.

Dans le cas où l'on n'aurait point de bois assez épais pour être fendus en *travons*, M. Laves propose de remplacer, à chaque extrémité, la partie que la scie de refend ne doit pas atteindre, par un assemblage à endents avec clefs et liens en fer, représenté fig. 14.

(1) On nomme *axe neutre*, dans une pièce de bois prête à se rompre, la ligne qui est au milieu de son épaisseur dans la surface qui sépare les fibres soumises à la tension de celles soumises à la contraction.

M. Laves a appliqué son système à des poteaux verticaux, et dans ce cas, si le poteau vertical *a*, fig. 15, est équarri comme le montre sa coupe horizontale *c*, il est refendu en quatre parties par des traits de scie qui se croisent au cœur, un étai en croix *b* est placé entre les quatre *travons*, retenus d'ailleurs par une frette carrée.

Si le poteau est cylindrique, on peut le refendre seulement en trois travons; cette disposition est représentée en *a'*, *b'*, *c'*, même figure.

M. Laves a appliqué ce moyen à la construction d'échafaudages et d'échelles d'une grande longueur et d'une légèreté remarquable.

M. Laves a fait plusieurs expériences qui prouvent que la roideur des poutres disposées suivant son système l'emporte de beaucoup sur celle des poutres de même équarissage dans leur état naturel.

Quatre pièces de bois de sapin de 13 mètres de longueur et de 0^m,256 d'épaisseur sur 0^m,242 de largeur, ont été mises par lui en expériences comparatives, une seule dans son état naturel, les autres disposées suivant sa méthode.

Dans ces dernières, l'écartement des travons était :

Dans la première, de moitié de l'épaisseur de la pièce;
 Dans la deuxième, égal à son épaisseur;
 Dans la troisième, une fois et demi son épaisseur.

Le *travon* supérieur ayant 0^m,142, le *travon* inférieur seulement 0^m,108, les épaisseurs de ces *travons* se trouvent dans le rapport de 21 à 16.

Les quatre pièces ont été chargées successivement par accroissement de 50 kil. jusqu'à 850 kil.

Leurs abaissements ont été observés comme il suit :

La poutre non-refendue s'est abaissée

Dans son milieu de	0 ^m ,148
La première poutre refendue s'est abaissée de	0 ^m ,094
La deuxième de	0 ^m ,067
La troisième de	0 ^m ,040

Ainsi, l'on voit que sous la même charge, le fléchissement a été bien moins grand dans les poutres refendues, et d'autant moins grand que l'écartement des travons l'était davantage.

M. Laves rapporte une autre expérience. Une poutre de 16^m,80 de portée, non refendue, et d'une seule pièce,

A fléchi de 0^m,040, sous un poids de 75 kilog.
de 0^m,067, sous un poids de 150 kil.
de 0^m,129, sous un poids de 250 kil.

tandis qu'une poutre refendue, de la même portée, mais en deux pièces assemblées comme dans les figures 10 et 12, n'a fléchi que des mêmes quantités,

De 0^m,040, sous une charge de 600 kil.
De 0^m,067, sous une charge de 888 kil.

M. Kestner s'étant rendu à Paris pour présenter le système de M. Laves au gouvernement, deux habiles charpentiers, MM. Lasnier et Albouy, se sont déterminés à faire, chacun pour son propre compte, une expérience. M. Emmery, inspecteur général des ponts-et-chaussées, et M. Biet, architecte inspecteur des bâtiments civils, furent chargés, par leurs ministères respectifs, d'assister à ces expériences auxquelles j'assistai aussi; elles eurent lieu le 10 février 1840.

M. Albouy avait préparé deux pièces de bois tirées d'un même sapin refendu en deux. Chaque pièce avait 15^m,64 de longueur, 20 centimètres d'épaisseur horizontale sur 28 d'épaisseur verticale.

La portée de chacune entre ses points d'appui était de 15 mètres.

Le trait de scie aussi mince que possible, s'étendait sur une longueur de 13 mètres dans la pièce refendue; le *travon* supérieur ayant 15 centimètres d'épaisseur, et le *travon* inférieur 13 seulement.

L'écartement des deux *travons* au milieu était maintenu par un étai de 0^m,50 de longueur, les deux autres étais avaient été coupés exactement à la mesure de l'écartement des *travons*, aux emplacements où ils devaient être posés. La figure 11 est une représentation fidèle de la pièce armée au moment où l'expérience a commencé.

Une ligne de milieu avait été battue préalablement dans toute la longueur de la pièce entière, et seulement sur les extrémités et sur les étais de la pièce armée, pour mesurer leurs flexions à mesure qu'on les chargerait simultanément et également.

Avant de commencer à poser aucun poids, on observa l'affaissement, c'est-à-dire la flexion naturelle de chacune sous son poids. Elle se trouva nulle pour la pièce armée, et de 39 millimètres pour l'autre. Des poids ont été posés successivement au milieu de la longueur de chaque pièce pour former sa charge, et les abaissements des pièces dans leurs milieux ont été observés comme il suit :

CHARGES.	ABAISSEMENTS OU FLÈCHES DE COURBURE	
	DE LA PIÈCE NON REFENDUE.	DE LA PIÈCE REFENDUE ET ARMÉE.
Kil.	Millim.	Millim.
0.	39.	0.
50.	51.	1.
100.	63.	2,50.
150.	75.	4.
200.	88.	6.
300.	112.	11.
400.	138.	15.
550.	154.	19.
700.	179.	27.
800.	205.	30.
950.	242.	39.
1100.	281.	42,50.

De petits poids ont été successivement ajoutés lentement et l'expérience a été continuée jusqu'aux résultats suivants :

1750. | 490. | 72.

Sous ce poids de 1750 kil. les pièces se rompirent en produisant une détonation comme celle d'une arme à feu.

Les ruptures examinées, on remarqua que dans la pièce non refendue la rupture avait eu lieu dans son milieu, et que les fibres, déchirées en longs éclats, occupaient à peu près la moitié de l'épaisseur de cette pièce.

Dans la pièce refendue et armée, la rupture eut lieu au point *d*, fig. 11, où s'arrêtait le trait de scie. On doit remarquer que la rupture a eu lieu dans ce point, d'abord, parce qu'il répondait au bout de la pièce qui avait un équarrissage un peu plus faible, ce bout étant celui du haut du sapin,

et, en second lieu, parce que le boulon de 2 centimètres de diamètre, avait affaibli la pièce de plus d'un dixième. Cette circonstance donna lieu de présumer que si au lieu d'un boulon on eût placé en *d* et en *e* des liens avec brides, vis et écrous, la pièce armée aurait pu porter un dixième de plus, et qu'elle n'aurait pas rompu sous une charge moindre que 2000 kilogrammes.

M. Lasnier avait de son côté préparé deux madriers de sapin très-secs, et parfaitement égaux de 12^m,75 entre leurs appuis, et posés de champ entre des poteaux verticaux servant de coulisses pour empêcher leur déversement; leur équarrissement était de 8^m,084 sur 0^m,260. L'un des deux était, suivant le système de M. Laves, refendu de façon que le *travon* supérieur avait 0^m,145 d'épaisseur, et l'inférieur 0^m,115; le trait de scie s'arrêtait à 0^m,8 des points d'appui; l'écartement des deux *travons*, au milieu de la longueur, où se trouvait un étrésillon vertical, était de 0^m,240; les deux autres étrésillons étaient placés, à moitié des distances égales entre celui du milieu et les extrémités du trait de scie, ils avaient des longueurs égales aux écartements que les *travons* avaient pris.

Au lieu de boulons dans les points où s'arrêtaient le trait de scie, M. Lasnier avait judicieusement établi des bouts de moises dont les boulons placés en dehors des madriers n'en affaiblissaient point l'épaisseur.

Les emplacements des étrésillons marquaient les points de suspension des charges sur le madrier refendu, et sur celui laissé entier. Lorsque nous arrivâmes chez M. Lasnier, il avait commencé son expérience sur le madrier armé, qui avait déjà supporté 1800 kil., répartis également par 600 kil., aux trois points de suspension. Il le fit charger de nouveau en notre présence; la pièce armée se courba en prenant une flèche de 59 millimètres, puis le *travon* inférieur rompit au bout de quelques minutes sous l'étrésillon de gauche, où ce *travon* formait un pli par l'effet de la forte tension qu'il éprouvait et qui tendait à diminuer la courbure de ses parties comprises entre les extrémités du trait de scie et les étais.

Le madrier non refendu ne pût supporter la charge de 1800 kil., il rompit avant qu'elle fût complétée.

Il y a lieu de présumer que si dans ces expériences les *travons* inférieurs n'eussent point été plus faibles que les *travons* supérieurs, les pièces armées auraient supporté des poids plus considérables. Il ne paraît pas cependant que la force des poutres armées par cette méthode dépasse de beaucoup celle des poutres dans leur état naturel; mais un avantage fort marqué de ce système, c'est d'augmenter considérablement la roideur des poutres, ce qui peut être très-utile dans plusieurs circonstances; cet avantage résulte de ce que dans l'armature on a déjà courbé les *travons*.

En augmentant l'épaisseur du *travon* inférieur, il est indispensable de

relier entre eux les deux *travons* par des moises verticales, comme l'a pratiqué M. Laves dans les charpentes, fig. 10 et 12 de la planche XCXVII.

M. Lasnier nous a fait connaître un moyen d'armature qu'il a quelquefois employé avec succès, et qui a quelque analogie avec le procédé de M. Laves; nous l'avons représenté, fig. 2 3, 4 de la même planche XCXVII.

La pièce qu'il s'agit d'armer est refendue de long et verticalement en trois parties égales. Après que ses parties sont rapprochées, on les perce toutes trois à chaque bout d'un trou pour recevoir un boulon. Au moyen d'une mèche anglaise garnie sur le devant d'un guide cylindrique du même diamètre que les trous des boulons, on creuse de 3 à 4 centimètres sur chaque face de sciage, deux enfoncements cylindriques et concentriques avec les trous des boulons. Des galets en bois dur, en gayac, par exemple, sont placés dans ces trous, et chacun est également engagé dans les deux pièces entre lesquelles il se trouve. Les pièces sont ensuite boulonnées, et par conséquent chaque boulon traverse les trois épaisseurs de la pièce refendue et deux galets. Les choses étant ainsi disposées, au moyen d'un sergent en fer et à vis, on force les trois pièces à se courber en sens contraire. La pièce intermédiaire, plus faible seule que les deux autres ensemble, prend une courbure plus grande; lorsque sa courbure est telle que la pièce du milieu forme une saillie égale à environ un tiers de sa largeur, on boulonne les trois pièces ensemble, et l'armature est terminée.

La figure 3 est, sur une échelle double, une coupe suivant la ligne $x y$ de l'un des bouts de la pièce armée, fig. 2, non compris le chantier p .

La figure 4 est une coupe suivant la ligne $m n$.

On peut combiner le procédé de M. Laves, et celui de M. Lasnier pour former une poutre armée que j'ai représentée, fig. 1, 5 et 6 de la planche XCXVII.

La poutre $a b$, fig. 1, est refendue suivant sa longueur par deux traits de scie verticaux c en d , de façon que l'épaisseur horizontale de la pièce est partagée en trois parties dans le rapport de 2, 3, 2, la plus épaisse se trouvant au milieu. Dans les points $e g$, elle est fortement serrée dans les liens à vis, brides et écrous qui exercent leur pression en dessus et en dessous sur des bandes de fer pour empêcher le refoulement du bois, et s'opposer à des plis subits dans ses fibres.

On place une bride ou même une frette dans le milieu de la poutre en c . Lorsque les choses sont ainsi disposées, on force les parties sciées à se courber au moyen de coins x et y , de façon que celles des deux rives prennent leur courbure en dessus, et que la partie intermédiaire la prenne en dessous.

La figure 5 est, sur une échelle double, une coupe verticale sur la ligne

$p q$ du milieu de la pièce ainsi armée, et la figure 6 est une coupe sur la ligne $v z$ d'une de ses extrémités.

On pourrait se dispenser des liens de fer extrêmes, en ne refendant pas la pièce entièrement jusqu'à ses deux bouts, c'est-à-dire en arrêtant les traits de scie à 6 ou 8 décimètres de chaque extrémité, et en remplissant les intervalles que laisseraient les traits de scie par des cales en fer aux emplacements des boulons.

Cette disposition a l'avantage d'occuper peu d'épaisseur comme celle de M. Lasnier, et elle a, sur le système de M. Laves, l'avantage de faire disparaître la crainte d'une disjonction dans les points $e d$ puisque les traits de scie sont dans le sens vertical.

Il serait à désirer que des expériences en grand et multipliées fussent faites pour comparer le système d'armature de L. Laves, et ceux dont nous venons de parler, avec tous les autres systèmes d'armature dont il a été question dans notre premier volume. Mais on conçoit que ces sortes d'expériences ne peuvent être entreprises par des particuliers, et que l'intérêt général des grandes constructions réclame qu'elles soient faites aux frais de l'État, puisqu'elles seraient profitables à tous.

CHAPITRE XXXII.

DOMES, CLOCHERS, FLÈCHES ET BEFFROIS.

I.

DOMES.

Le mot *dôme*, qui a la même origine grecque que le *domus*, maison, des latins, est employé chez les modernes pour désigner la forme extérieure d'un comble, le plus ordinairement sphéroïdal, qui couvre un espace circulaire, soit que cet espace se trouve isolé, soit qu'il occupe le centre ou toute autre place d'un édifice.

Dans les monuments consacrés au culte, les *dômes* s'élèvent ordinairement au-dessus du sanctuaire et en indiquent la place. C'est particulièrement à ceux-ci que ce mot est consacré.

Souvent les *dômes* couvrent des voûtes auxquelles on a donné le nom de *coupoles*, à cause de leur ressemblance avec une coupe renversée. Quelques dômes s'élèvent sur des plans carrés ou octogonaux, et n'ont point la forme sphérique.

Chez les anciens, la surface extérieure d'une coupole était celle du toit, ce qui résultait de la simplicité bien entendue des constructions antiques, et surtout du climat. Depuis, les dômes sont devenus un ornement extérieur des édifices. Ils s'élèvent beaucoup plus haut que ne le nécessiterait le seul besoin d'abriter les coupoles, parce qu'on a en vue de les rendre plus apparents à l'extérieur.

Le plus ordinairement les dômes sont en charpente et indépendants de la coupole qu'ils abritent.

Il existe, cependant, quelques dômes en maçonnerie; nous citerons ceux de Saint-Pierre de Rome et du Panthéon à Paris, mais les voûtes extérieures sont toujours séparées de celles intérieures qui forment les coupoles.

Les voûtes extérieures en maçonnerie atteignent le même but que les

dômes en charpente. Quelquefois les dômes en charpente présentent à l'intérieur la forme d'une coupole, et la charpente de cette voûte fait partie de celle du dôme. Ces sortes de dômes ne sont pas cependant ceux que l'on construit ordinairement pour les plus grands édifices, surtout lorsque leurs coupoles sont en maçonnerie. On préfère alors les dômes aussi en maçonnerie, pour éviter le hieiment auquel ceux en charpente pourraient être sujets.

Les dômes en charpente sont composés d'un certain nombre de fermes qui sont autant de pans de bois verticaux, dont les plans milieux prolongés passent par l'axe vertical du dôme.

Le contour extérieur de chaque ferme est le profil du dôme lorsque sa surface est une surface de révolution. En général, ces fermes prennent leurs naissances sur une combinaison de sablières qui forment un grand anneau sur le mur circulaire du dôme, cet anneau s'oppose complètement à la poussée, si on lui a donné une force suffisante, lors même que les murs n'auraient point l'épaisseur nécessaire pour résister à cette poussée, ne devant avoir que la force de résister à la pression verticale, produite par le poids de la charpente.

§ 1. *Dôme de Mathurin Jousse.*

La figure 12, planche CXI, est une ferme d'un dôme composé par Mathurin Jousse, dont il a donné une figure gravée sur bois, dans son *Art de la Charpenterie*. Rondelet l'a reproduite dans son *Art de bâtir*, pl. CXXI. Le dôme est supposé projeté sur un diamètre de 36 pieds (11^m,694). Nous d'en donnons point le plan; il suffit de dire que, d'après le dessin de Mathurin Jousse, ce dôme serait composé de 40 demi-fermes toutes égales, dont 8 seulement supporteraient une lanterne s'élevant au-dessus du dôme, dans l'épaisseur de la charpente, huit arcades *y* sont figurées pour la décoration; et dans la partie de cette lanterne qui excède la surface du dôme, huit fenêtres égales aux arcades doivent laisser arriver le jour, seulement pour éclairer la petite coupole de la lanterne, vu qu'elles ne suffiraient point pour répandre la lumière dans la coupole du dôme qui ne peut être éclairée que par de grandes fenêtres qui seraient percées dans la tour qui le supporte. A droite est la combinaison donnée par Mathurin Jousse, à gauche est celle que propose Rondelet, et qui est préférable en effet, vu que les contre-fiches *p*, *q*, sont mieux disposées que celle *r*, et que la moise horizontale *a* qu'il a ajoutée et la moise inclinée *b* qu'il a substituée aux petites pièces *m* et *n*, lient les courbes de la surface du dôme avec celles de la coupole.

§ 2. *Dôme de Fourneau.*

Fourneau a figuré, dans son *Art du Trait*, pl. XXX, une ferme d'un dôme projeté sur un diamètre d'environ 40 pieds (12^m,994). La figure 13 de notre planche CXI, donne le galbe de ce dôme, le profil de sa coupole en maçonnerie et celui de sa lanterne. La ferme dessinée par Fourneau est en quelque sorte une copie, sur des dimensions plus petites, d'une de celles du dôme des Invalides à Paris, dont nous donnerons la description plus loin. La figure 13 représente la ferme tracée par Rondelet, sur la planche CXXI de son *Art de bâtir*, comme une correction à faire au dessin de Fourneau, mais les changements sont si grands que nous sommes autorisés à regarder ce dôme comme entièrement composé par Rondelet; nous avons, au surplus, marqué par des lignes ponctuées, les pièces qui composent le système que Fourneau avait adopté, et que Rondelet a remplacé par celui des grandes contre-fiches.

La charpente repose sur une enrayure annulaire formée par quatre rangs de sablières. Les fermes, au nombre de douze, rayonnent sur un poinçon central, qui porte sur l'enrayure placée au-dessus de la coupole. Cette enrayure est de la forme de celle que nous avons représentée, fig. 2, pl. LXXI, sous le toit conique.

§ 3. *Dôme de Styerme.*

La figure 2, pl. CXII, représente une ferme d'un dôme composé par Styerme, et auquel il a appliqué un tracé analogue à celui qu'il avait adopté pour les combles plans. Des lignes ponctuées sur la droite de la figure indiquent les constructions qu'il a prescrites pour déterminer les principales combinaisons de cette ferme.

Tout en convenant que le galbe du dôme de Styerme ne manque pas d'élégance, on ne découvre pas les motifs de sa construction graphique. Cet appareil de lignes n'est encore ici, comme dans ses fermes, pour les combles à deux égouts, page 113, moins un système nouveau qu'un des nombreux moyens que la géométrie graphique fournit pour formuler un tracé de dôme, afin de reproduire des charpentes exactement semblables, quelles que soient leurs dimensions. C'est, au surplus, un usage que les bons constructeurs devraient adopter quel que soit l'objet d'une charpente, seulement pour indiquer la méthode qu'ils suivent pour en

disposer les différents contours et pour qu'on puisse en exécuter le tracé avec exactitude, toutes les fois qu'il s'agira d'en faire quelque application.

Il nous paraît enfin que c'est après coup, et comme cela a presque toujours lieu, lorsque Styerme a eu déterminé avec goût et adresse le galbe extérieur de son dôme, le cintre de sa coupole et les principales pièces qui devaient entrer dans la composition d'une ferme, qu'il a tracé les différentes lignes de construction graphique, en les faisant varier en même temps que les pièces de la ferme, pour mettre l'accord indispensable entre la combinaison des bois et sa formule.

Voici en dernière analyse, la description qu'il me paraît qu'on peut donner de ce tracé, elle diffère un peu de celle qu'a donnée Rondelet, dans laquelle on ne voit pas assez clairement d'après quelles bases Styerme aurait commencé son tracé, la hauteur du dôme n'étant certainement pas la première donnée imposée :

Le diamètre intérieur du dôme étant donné, on le suppose ici de 42 pieds et demi (13^m,805), le demi-cercle qui est décrit du rayon $c a$ est le profil de la coupole. Une tangente à ce demi-cercle, inclinée à 45° en rencontrant l'axe vertical au point b , marque le niveau d'une horizontale $b d$ qui fixe la hauteur du dôme à environ 32 pieds et demi (10^m,557). Cette hauteur est la dimension du côté du carré $c b d e$.

Le point y , où se termine la courbure extérieure du dôme, est pris au quart de la longueur $b d$. Le point z , sur le diamètre, est déterminé en faisant $c z$ égal à $n y$; ce point est le centre de l'arc de cercle $y x$ qui forme le galbe du dôme, de sorte que le rayon $z y$ est égal à $c n$ (1). Le diamètre total du dôme se trouve porté à environ 58 pieds (18^m,670).

La diagonale $m n$, prolongée jusqu'en o sur l'axe du dôme, fixe la hauteur de la lanterne; une verticale $p q$, élevée sur la naissance du cintre, donne par son intersection r avec la diagonale $c d$, la hauteur du dessous de l'entrait g ; le dessus de l'arbalétrier v est dirigé sur le point m . L'emplacement du second arbalétrier v' est donné par une parallèle au premier arbalétrier, passant par le point u où l'horizontale $a m$ est rencontrée par la verticale $t s$ passant par la gorge de l'assemblage du premier chevron sur la sablière, ou par le point k donné par l'intersection de la diagonale $c n$ avec le dessus de l'entrait; la jambe de force et l'aisellier sont tangents à la courbe de la coupole, ce dernier se trouvant sur la diagonale $b e$.

La figure 3 est la coupe verticale de l'espèce de flèche qui termine la

(1) L'arc de cercle $z n$, tracé du point e par Kraft, et reproduit sur la planche CXVII de l'*Art de bâtir* de Rondelet et sur notre dessin, est inutile à la construction.

lanterne : la hauteur de notre planche n'ayant pas permis de comprendre cette flèche dans la figure 2, il est aisé de voir que la pièce horizontale *fh* est commune aux deux figures.

La figure 1 est un plan qui présente dans ses différentes parties les projections horizontales du dôme, suivant les sections qui y sont faites à différentes hauteurs. En *A* est la projection horizontale du dôme avec les chevrons formant son galbe extérieur, et en supposant la lanterne enlevée par une coupe horizontale suivant la ligne *b' b'* de la figure 2, et que les chevrons sont faits en planches de champ accolées et clouées les unes sur les autres. En *B* ces chevrons sont supposés enlevés pour laisser voir ceux de la coupole également supposés en planches. En *C* est la projection des chevrons de la coupole supposés en bois carrés, et des liernes, vus dans l'hypothèse qu'on a enlevé ceux du dôme, les bouts des chevrons étant supposés cassés pour qu'on ne les confonde point avec ceux de la projection contiguë.

D coupe horizontale suivant la ligne *d' d'* de la figure 2. Cette coupe dans la figure 1 ne comprend que la projection des chevrons de la coupole et les coupes des pièces de la charpente.

E coupe horizontale suivant la ligne *e' e'*, fig. 2, avec les projections des parties des fermes et des chevrons du dôme et de la coupole qui restent au-dessous du plan de coupe.

F coupe horizontale par un plan ayant pour trace la ligne *ff* sur la figure 2. On ne voit dans cette coupe que les pas des pièces des fermes et des chevrons sur les sablières.

La figure 4 est une coupe de la lanterne par un plan horizontal, à la hauteur de la ligne *a' a'*, fig. 2.

La figure 5 est une projection verticale ou élévation du dôme vue extérieurement construite sur une échelle qui est le quart de celle de la figure 2.

§ 4. Dôme des Invalides.

Par un édit du mois d'avril 1674, Louis XIV se déclara fondateur et protecteur de l'hôtel des Invalides, dont la construction avait été commencée dès 1670, et cette même année, 1674, le bâtiment se trouva en état de recevoir des invalides, officiers et soldats.

Les bâtiments de l'hôtel sont de Libéral Bruant, mais l'église et son dôme ont été construits sur les dessins et sous la direction de Jules-Hardouin Mansard, alors sous-intendant et ordonnateur des bâtiments royaux servant aux manufactures.

La charpente du dôme est un des plus remarquables ouvrages de ce temps (1).

La figure 1 de notre planche CXIII représente une des deux grandes fermes qui se croisent dans l'axe de cette charpente, et qui sont accompagnées de huit grandes demi-fermes et de douze fermettes.

Les figures 2 et 4 composent, autour du centre commun *C*, un plan qui montre les projections horizontales de différentes parties de cette charpente prises à deux niveaux différents.

La figure 4 est spécialement destinée à faire voir la composition de l'enrayure annulaire, formée de sablières, qui reçoit la charpente, et dont la liaison parfaite s'oppose à la poussée. Cette enrayure repose sur le haut du mur formant la tour du dôme. Cette coupe horizontale est prise au niveau de la ligne *a a*, fig. 1.

La figure 2 fait voir le détail de la grande enrayure établie au-dessus de la coupole.

Cette enrayure est portée par deux entrails principaux composés chacun de quatre pièces réunies sur le tiers de la portée totale de chacune, et se prolongeant deux à deux juxtaposées jusqu'à la surface intérieure du dôme pour s'appuyer sur les jambes de force en les moisant. Ces entrails, en se croisant à mi-bois entre chaque pièce, moisent aussi le poinçon qui monte dans la lanterne et s'élève jusque dans la flèche pyramidale qui la surmonte; les assemblages à mi-bois de toutes les pièces sont consolidés par des bandes de fer.

Aucune de ces pièces n'est de niveau; elles ont chacune une légère pente pour que les entrails qu'elles forment posent au même niveau sur les jambes de force qu'elles moisent.

L'enrayure est du reste formée, suivant l'usage, de petits goussets assemblés entre les entrails et comme moisés par eux, ils soutiennent les grands coyers doubles comme les extrémités des entrails, et enfin d'autres goussets assemblés entre les entrails et les coyers soutiennent aussi de petits coyers simples; tous ces goussets forment des polygones réguliers autour du centre, et tous les coyers tendent à ce centre.

Les deux grandes fermes qui répondent aux entrails et se croisent dans l'axe, pourraient être considérées comme les maîtresses fermes, mais il faut remarquer que celles qui répondent aux grands coyers sont égales aux moitiés des grandes fermes, sauf qu'elles n'atteignent pas le poinçon central. Ainsi les moitiés des grandes fermes aussi bien que les demi-fermes intermédiaires s'assemblent toutes par le haut dans les montants

(1) Le dôme de Saint-Paul, à Londres, a été construit à peu près à la même époque.

de la lanterne qui leur correspondent et qui leur servent de poinçon ; car on conçoit que dans ces sortes de constructions, un poinçon central ne pourrait recevoir les assemblages de toutes les fermes, et que c'est la lanterne qui tient lieu de poinçon à leur égard.

Les douze demi-fermes, formant le galbe du dôme, ont leurs naissances sur des doubles blochets qui font partie de l'enrayure annulaire. Les vingt-quatre fermettes ont les leurs sur des blochets simples qui sont également combinés dans l'enrayure annulaire ; elles ne s'élèvent point au-dessus des coyers simples qui sont compris dans la grande enrayure. Ces fermettes ont été placées près des grandes fermes, et ne divisent pas l'espace entre celles-ci en parties égales, mais elles sont distribuées à égales distances entre elles, parce que ce sont elles qui reçoivent les assemblages des cours de pannes, depuis la naissance jusqu'à l'enrayure ; et qu'il faut que dans chaque cours de pannes leurs portées ou longueurs soient égales.

Les longueurs des pannes auraient été trop grandes si elles eussent été soutenues seulement par les fermes, et trop courtes si les fermettes et les fermes eussent été espacées également ; au lieu que par cette disposition aucune des fermes ni fermettes ne portent chevrons, et les seules fermettes supportent les pannes sur leurs moises inférieures à la grande enrayure.

Au-dessus de cette enrayure, l'écartement des grandes fermes étant beaucoup moindre, les bouts de leurs moises s'assemblent dans les pannes, les chevrons sont tous cintrés, et ils sont assemblés dans les pannes.

La hauteur de notre planche ne nous ayant pas permis de lui faire contenir toute celle du dôme, nous avons représenté, fig. 7, la lanterne et la flèche ; la corniche *A B* est commune aux deux fig. 1 et 7, et leur sert de raccordement pour former une coupe complète de la charpente.

La partie inférieure de la figure 3 représente la moitié du plan de la lanterne, au niveau de la ligne *b b*.

La partie supérieure de cette même figure représente le plan de la lanterne, au niveau de la corniche *c c*.

Nous avons tracé, fig. 5, le plan des murs du dôme, et fig. 6 une projection verticale présentant sa décoration extérieure ; la loi que nous nous sommes imposée de n'employer que des projections orthogonales, nous a empêché de représenter une vue de ce dôme qui acquiert une très-grande élégance par l'effet de la perspective, et qui est un des plus beaux monuments de notre capitale.

Rondelet, dans son *Art de bâtir*, fait une critique sévère de la char-

pente de ce dôme; il compare le cube du bois employé dans le dôme des Invalides à celui qui est entré dans l'église *della Salute* de Venise.

Regardant le cube du bois d'un dôme comme devant être proportionnel à la surface de sa coupe, par un plan vertical passant par son axe, il trouve que le cube du bois du dôme des Invalides, calculé par lui, est de 6484 pièces ou solives (1), la surface de la coupe, compris sa lanterne, étant de 4180 pieds carrés(2), tandis que la surface de la coupe du dôme *della Salute* étant de 2908 pieds carrés, le cube du bois qu'on y aurait employé, si l'on eût suivi le système du dôme des Invalides, aurait été de 4150 pièces ou solives; mais que d'après le calcul qu'il en a fait, on n'y a employé que 1369 solives, et qu'ainsi on a épargné, dans la construction du dôme *della Salute*, 3141 solives de bois qui eussent chargé l'édifice de plus de 600 milliers (300,000 kilogr., ou 300 tonnes).

Considérant ensuite la question sous le rapport inverse, il trouve qu'on aurait dû employer au dôme des Invalides un peu moins de 1968 solives, en imitant la construction du dôme *della Salute*, ce qui eût épargné 4516 solives (202^m,704), et 50,000 fr. de dépense.

Nous n'admettons pas entièrement cette critique, vu que les deux dômes ne sont pas dans les mêmes circonstances de construction. Le dôme *della Salute* est plus petit, et nous ne pensons pas que les cubes des charpentes doivent être comme les surfaces de leurs coupes.

En outre, la lanterne du dôme *della Salute* est supporté par la coupole en maçonnerie et non par la charpente; par conséquent, on n'avait rien à craindre du hiement de la charpente qui a pu alors être aussi légère qu'on l'a voulu. Au contraire, aux Invalides, la charpente n'étant point soutenue par la coupole, on a dû chercher, par les dimensions maté-

(1) La solive était autrefois l'unité de mesure du volume pour les bois; elle équivalait à 3 pieds cubes (1^{me},103).

	DOMES DES INVALIDES.	DOMES DE L'ÉGLISE DELLA SALUTE.
(2) Dôme... { Diamètre...	84 pieds (27 ^m ,286).	75 pi. 6 po (24 ^m ,525).
{ Hauteur...	53..... (17 ,217).	38 (12 ,374).
Lanterne.... { Diamètre...	21..... (6 ,822).	37 (12 ,019).
{ Hauteur...	45..... (14 ,618).	
Superficie de la coupole....	4180 pieds carr... (441 ^m ,078)	2908 pieds carr.. (306 ^m ,855)
Cube du bois de la coupole.	6484 solives.... (667 ^{me} ,862)	1369 solives.... (141 ^{me} ,007)

rielles des bois et leurs combinaisons, à prévenir le *hiement*, pour ne point fatiguer les murs, et Rondelet convient lui-même (note de la page 157, tome III) que c'est précisément ce *hiement* qui aurait pu fatiguer la tour du dôme de Sainte-Geneviève (le Panthéon à Paris), dans le système d'un dôme en charpente qu'on projetait pour ce monument, qui lui a fait préférer la construction d'un dôme en pierre.

Ainsi donc, l'excès des dimensions des bois dans le dôme des Invalides, n'est pas aussi blâmable ni aussi considérable qu'on pourrait le croire, d'après les comparaisons que nous avons citées plus haut.

§ 5. *Petits Dômes.*

On construit des petits dômes sur de petites églises, sur de simples chapelles et même sur des bâtiments particuliers, au-dessus des pièces centrales, et lorsqu'on veut marquer leurs places pour qu'elles soient aperçues du dehors.

La figure 10, pl. CXI, est le détail de la construction d'un petit dôme établi au-dessus d'un salon circulaire, et surmonté d'une sorte de lanterne abritant un escalier pour atteindre au sommet du dôme.

La figure 11 présente les plans de cette construction; sur la gauche est le plan de l'enrayure; sur la droite est une coupe horizontale suivant la ligne *a b*.

La figure 6 est une projection verticale d'une tour surmontée de ce dôme, sur une échelle d'un quart de celle de la figure 10.

La figure 7 est un dôme en impériale, élevé sur un pavillon carré.

La figure 8 contient les plans de ce dôme; sur la gauche, la coupe horizontale a pour trace la ligne *a a*, passant par la face supérieure du tirant, fig. 7; sur la droite est la projection de la charpente entière du dôme, la lanterne étant coupée par un plan horizontal suivant la ligne *b b* et enlevée.

La figure 5 est la projection verticale de ce pavillon sur une échelle du quart de celle de la figure 7.

II.

DOMES TORS.

On donne le nom de dômes tors à ceux qui, étant établis sur des plans polygonaux, au lieu d'avoir leurs arêtières contenus dans des plans ver-

tics passant par leurs axes, les ont en forme de spirales plus ou moins contournées, suivant les profils qu'on a choisis et qu'ils auraient eu, si au lieu d'être tors ils étaient droits.

Il existe peu d'exemples de dômes tors, à moins que ce ne soit parmi les modèles que les ouvriers exécutent comme chefs-d'œuvre, pour faire leurs preuves de capacité.

Nicolas Fourneau avait construit un petit dôme tors sur l'église de la Chartreuse de Gaillon, surmonté d'une flèche également torse, que nous décrivons dans le quatrième paragraphe de ce chapitre.

Le dôme et la Chartreuse n'existent plus depuis plusieurs années, ils sont tombés sous les coups des impitoyables démolisseurs; on n'a même conservé dans le pays aucun débris de ce dôme et de sa flèche, comme échantillon de ce curieux chef-d'œuvre de l'habile charpentier.

§ 1. *Dôme tors de N. Fourneau.*

Le polygone $abcd efgh$, fig. 9, pl. CXV, est le plan octogonal du dôme à la hauteur de sa base mm de la figure 12, qui représente l'élévation et le profil $mnvzy$ d'un des arêtiers d'un dôme non tors.

Un dôme droit polygonal étant divisé dans sa hauteur par un certain nombre de plans horizontaux, qui donne pour section dans sa surface une suite de polygones, Fourneau suppose que tous ces plans tournent sur l'axe vertical, et que les angles de chaque polygone tournent au-delà du trajet fait par les angles du polygone immédiatement inférieur d'une quantité, mesurée sur l'arc parcouru, proportionnelle à celle dont il se trouve plus élevé au-dessus de ce même polygone.

Les courbes des arêtiers tors passent par les angles des polygones qui ont accompli leur mouvement suivant cette loi. Ainsi, par exemple, Fourneau s'étant donné une ligne AB , dont l'inclinaison lui paraît propre à fixer le rapport de la quantité de torsion de chaque polygone, au-dessus de celui qui lui est inférieur, il trace par les points principaux du profil général des horizontales, et par les points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 où ces horizontales coupent l'axe vertical, il trace des parallèles à la ligne AB pour former une suite de petits triangles semblables à celui 1 ao ; la base de chaque triangle donne la longueur de la corde convenant à l'arc décrit par l'angle de chaque polygone dans son mouvement, après celui du polygone qui lui est immédiatement inférieur.

Supposons, par exemple, que les points 1 et O , qui sont dans le méridien projeté sur op , fig. 12, sont en projection horizontale confondus sur le point a , fig. 9. Dans ce même méridien, ayant ca pour trace horizontale, ce point a doit faire, en tournant dans son plan à la hauteur nn , fig. 12, un trajet mesuré sur l'arc qu'il décrit par une corde égale à ao ; il faut donc porter, fig. 9, cette corde de a en 1.

Le point 1 est la projection horizontale d'un angle du polygone du niveau nn , après son mouvement de torsion; on le rapporte en 1' à sa place, en projection verticale sur la ligne nn .

Ayant ensuite tracé, fig. 9, le rayon $c1$, et décrit un cercle avec un rayon $2-v$, pris à la hauteur vv , de la figure 12, on porte la quantité $b1$, de la figure 12, comme corde sur l'arc de cercle, fig. 9, de b en 2; le point 2 est la projection horizontale de l'angle du polygone à la hauteur vv , après qu'il a fait son mouvement mesuré par l'arc $b-2$, dont la corde est proportionnelle à la hauteur de v , au-dessus de n , puisque l'on a $ao : o1 :: b-1 : 1-2$. Après avoir tracé, fig. 9, le rayon $c-2$, et un cercle avec un rayon égal à $3-x$ de la figure 12, on porte sur ce cercle de d en 3 une corde égale à $2-c$ de la figure 12; le point 3 est la projection d'un angle du polygone du niveau xx . Ce point est projeté verticalement en 3' fig. 12.

On voit qu'en continuant de la sorte, c'est-à-dire en traçant toujours, sur la figure 9, un rayon par le dernier point déterminé, puis un arc de cercle avec un rayon pris sur la figure 12, au niveau du point à déterminer, et en portant dans cet arc de cercle la corde égale à la base du triangle correspondant, on obtient successivement tous les points de la projection horizontale de la courbe en 1, 2, 3, 4, 5, 6, qu'on établit successivement sur la projection verticale en 1', 2', 3', 4', 5', etc.

Cette courbe, que Fourneau nomme *spirale*, peut ne pas avoir la régularité de courbure désirable, si la détermination des distances des plans qui donnent des sections horizontales dans ce dôme ne suit pas une loi, que Fourneau ne fixe pas suffisamment en se contentant de dire : *qu'en posant des lignes d'adoucissement* (c'est ainsi qu'il désigne les traces verticales des plans horizontaux), *sur celle rampante à volonté, et que plus on en posera, plus la spirale sera exempte d'erreurs*; il fallait ajouter que les positions de ces lignes étaient déterminées par les parties saillantes, ou les points d'inflexion du profil du dôme pour les moulures, et par des divisions égales sur la courbe continue formant le galbe du dôme, auquel cas les spirales formant les lignes d'arêtières seraient, comme le veut Fourneau, *rampantes proportionnellement, selon le renflement du dôme et selon sa diminution*.

Ou bien, on peut établir ces lignes à des distances égales, mesurées sur

l'axe en astreignant même les moulures et leurs parties à cette loi; et dans ce cas, la spirale fait un angle constant avec l'horizon.

A l'égard de la construction du dôme, Fourneau dit que les fermes doivent être torses comme les arêtes, il en résulte que les pièces de ces fermes, combinées comme celles d'une ferme non torse, doivent avoir des formes résultant de la torsion; les faces de parement de chacune doivent être parallèles à leur surface moyenne, qui est une surface gauche engendrée par une horizontale s'appuyant sur l'axe et sur la courbe d'arête; ainsi une section horizontale quelconque, dans la ferme torse, doit être égale à la section de même niveau dans la ferme droite.

On conçoit néanmoins que, quoique ce moyen soit celui qui est le plus conforme à l'esprit de l'art, qui veut, comme nous l'avons déjà fait remarquer, que dans tous les mouvements de biais et de rampant on suive la loi de continuité, il n'est pas le plus simple. Nous reviendrons sur ce sujet en traitant des flèches torses, le principe de construction étant à peu près le même.

§ 2. Construction régulière d'un dôme tors.

Pour que la courbe des arêtes d'un dôme tors soit une hélice, il faut que cette courbe rencontre toutes les courbes méridiennes de la surface de révolution dans laquelle le dôme est inscrit sous un angle constant.

Nous supposerons que la courbe génératrice de la surface de révolution est un quart de cercle, et que par conséquent le dôme tors est inscrit dans une calotte hémisphérique. Les hélices des arêtes torses sont alors des *loxodromiques*.

Soit, fig. 20, un demi-cercle qui est le méridien de la sphère dans le plan de projection verticale qui a pour trace horizontale la ligne $a b$, fig. 21; le polygone de seize côtés $a m n o p q$, etc., est le plan d'un dôme à seize pans. Si le dôme n'était point tors, chacun de ses pans répondant à un des côtés du polygone du plan serait cylindrique à génératrices horizontales, et les arêtiers résultant de leurs intersections, ou, pour mieux dire, leur servant de base, seraient des grands cercles de la sphère, et auraient pour projections horizontales des lignes droites ponctuées $c m, c n, c o$, etc., fig. 21; leurs projections verticales seraient des ellipses que nous n'avons point projetées sur la figure 20, vu qu'elles sont inutiles à ce que nous avons en vue.

Les arêtes des dômes tors devant être, comme nous l'avons dit plus

Haut des *loxodromiques*, voici le moyen de construction que nous suivrons pour les mettre en projection horizontale et en projection verticale.

Si l'on développe chaque quart de cercle méridien sur sa trace horizontale prolongée, fig. 21, tous les développements étant égaux, leurs extrémités seront dans un cercle a', m', n', o', p', q' , etc. Ainsi la ligne $a's$, fig. 20, étant le développement du quart de cercle as est égale au rayon du cercle $a'm'n'o'$ etc. de la figure 21.

Si l'on suppose qu'une ligne *loxodromique* soit tracée sur la sphère, et que les points où elle coupe les méridiens soient rapportés sur les développements respectifs cm', cn', co', cp' , etc., de ces méridiens, la courbe qui en résultera sera une *spirale logarithmique*; car dans l'une et l'autre courbe, les tangentes forment des angles constants, l'une avec les arêtes méridiennes, l'autre avec les rayons.

Ainsi donc ayant résolu qu'une des arêtes du dôme tors prend naissance à l'angle o de sa base, et qu'elle doit aboutir au point 5 de son couronnement, il faudra, fig. 21, entre le développement co' du méridien projeté sur co et la partie $c-5'$ du développement $c't$ du méridien projeté sur ct , tracer une spirale logarithmique $o-1'-2'-3'-4'-5'$, en intercalant entre $c-5'$ et co' autant de moyennes proportionnelles qu'on a tracé de méridiens cp', cq', cr', cs' , c'est-à-dire quatre dans le présent exemple, soit par le moyen graphique que nous avons indiqué, page 98, soit par le calcul, soit enfin par le moyen de l'instrument de Descartes, que nous décrivons dans la note ci-dessous (1).

(1) L'instrument de Descartes est une sorte de compas composé de deux règles OA , OB , fig. 4, pl. CXV, mobiles autour du point O ; le long de ces règles posées à plat sur une table, on dispose autant d'équerres plus une, qu'il s'agit de proportionnelles à déterminer. Chaque équerre touche celle qui la précède du côté du centre, et dans chaque équerre l'angle droit qui sert à la solution de la question est formé par le côté interne de la grande branche et le côté externe de la petite. Ainsi dans l'équerre, fig. 5, c'est l'angle droit $m'pn$ qui doit fonctionner. On conçoit que la première équerre cab , étant fixée pour une certaine ouverture du compas, les positions de toutes les autres équerres le sont aussi, et à cause de la suite des triangles rectangles semblables cab , $b'cd$, $d'be$, $e'df$, l'on a $Oa : Oc :: Oc : Ob :: Ob : Od :: Od : Oe :: Oe : Of$ ou bien $Oa : Oc : Ob : Od : Oe : Of$, c'est-à-dire que Oc , Ob , Od , Oe , sont quatre moyennes proportionnelles entre Oa et Of . Cela posé, pour faire usage de l'instrument devant, par exemple, déterminer quatre moyennes proportionnelles entre les lignes a et f , fig. 6, on fixe la boîte mobile y et à vis de l'instrument sur une de ses branches, de façon qu'à partir du centre la distance Oa soit égale à la ligne a , et sur l'autre branche on marque un point f à une distance du centre telle que Of soit égale à la ligne f . On ouvre ensuite le compas en faisant glisser toutes les équerres, de façon qu'elles s'appuient les unes contre les autres jusqu'à ce que la branche fe de la dernière coïncide avec le point f . Les autres équerres déterminent, comme nous l'avons dit précédemment, les quatre moyennes proportionnelles Oc , Ob , Od , Oe , auxquelles on fait les quatre lignes c , b , d , e , respectivement égales.

Les points 1', 2', 3', 4', appartiennent à cette *spirale logarithmique*.

Pour tracer les projections de la *loxodromique*, il faut rapporter les points de la *logarithmique* sur les quarts de cercle auxquels ils appartiennent, ou, ce qui est la même chose, déterminer les plans des cercles horizontaux sur lesquels ces points se trouvent, et pour cela réenvelopper les longueurs $c\ a'$, $c-1'$, $c-2'$, $c-3'$, $c-4'$, fig. 20 (égales aux rayons $c\ o'$, $c-1'$, $c-2'$, $c-3'$, $c-4'$), sur le quart de cercle $a\ b$, fig. 20, qui donne les points o , 1", 2", 3", 4", 5"; les horizontales passant par ces points, sont les traces de plans horizontaux 1"-1", 2"-2", 3"-3", 4"-4", coupant la sphère suivant des cercles dont les projections horizontales, fig. 21, donnent par leurs intersections avec le méridien, les points 1, 2, 3, 4, qui appartiennent à la projection horizontale de la *loxodromique*; en renvoyant ces points sur les horizontales de la fig. 20, on obtient les points de la *loxodromique* projetée sur le plan vertical.

Les pans tors de ce dôme sont alors engendrés chacun par une ligne droite horizontale qui se ment en s'appuyant sur deux *loxodromiques*; et en quelque position qu'on considère cette droite, sa portion comprise entre deux arêtes *loxodromiques* est égale à la droite horizontale prise au même niveau, qui serait comprise entre deux arêtes du dôme, s'il n'était point tors, et qui appartiendrait à la surface d'un de ses pans.

La figure 18 est la projection verticale d'un dôme tors, suivant cette construction; la figure 21 en est la projection horizontale.

Cette méthode est applicable à toutes les formes qu'on peut donner au méridien générateur de la surface qui enveloppe un dôme tors. Elle a sur celle indiquée par Fourneau, l'avantage qu'on est maître du point d'arrivée de la *spirale loxodromique*, comme de son point de départ, tandis que par la méthode de Fourneau ce n'est que par un tâtonnement excessivement long que l'on parvient à faire aboutir l'hélice où l'on veut.

Pour que les contacts des équerres aient lieu avec justesse, leurs petits côtés ont plus d'épaisseur que leurs grands côtés. Une de ces équerres est figurée à plat, fig. 5, et vue par le bout de sa longue branche, fig. 3.

III

DONJONS (1).

Les donjons sont des tours rondes et plus souvent carrées qui s'élèvent au-dessus des châteaux forts; on donne aussi le même nom aux toits élevés qui les couvrent, et qui ont quelques rapports avec les dômes quoiqu'ils n'aient jamais d'aussi grandes dimensions.

Nous donnons un seul exemple de la charpente d'un donjon, et nous avons choisi celle de l'ancien donjon à huit pans de l'île d'Aix, parce que cette construction est complète sous le rapport de l'art du charpentier.

La figure 9, pl. CXI, est une coupe de ce donjon par un plan vertical suivant la ligne *a b* du plan.

Dans cette coupe, nous avons supposé que d'un côté les planches du revêtement de la voûte n'ont pas encore été placées, afin de laisser voir la charpente.

La fig. 1 est une coupe horizontale à la hauteur de la ligne *d e*, fig. 9. Nous avons supposé dans ce plan que les chevrons du toit, et ceux de remplage pour la voûte, ne sont point posés; nous avons seulement marqué leurs pas sur les sablières.

La figure 2 est une coupe horizontale de la lanterne à la hauteur de la ligne *f g*, fig. 9.

La fig. 3 est une projection horizontale du toit avec sa lanterne, sur une échelle du tiers de celle des figures 1, 2 et 9.

La figure 4 est, sur cette même petite échelle, sur une projection verticale de la partie du donjon qui s'élevait au-dessus du niveau *m n* de la plate-forme du château qui a été démoli.

Quelquefois les donjons des habitations féodales étaient surmontés de longues *flèches*, accompagnées de *clochetons* qui couvraient les tourelles saillantes construites aux angles de la tour principale. Les flèches et les clochetons étaient en charpente. Nous avons représenté, à une très-petite échelle, la projection d'une construction de cette sorte, fig. 14 de la même planche CXI.

(1) *Donjus*, par élision, suivant Ménage, du mot *domnionus*, qui domine (basse latinité).

IV.

CLOCHERS.

Le nom de clocher indique assez la destination des tours rondes ou carrées, en maçonnerie ou en charpente, qui font partie des édifices religieux.

A moins qu'une église ne soit bâtie entièrement en bois, il est bien rare que son clocher ne soit pas en pierre, du moins pour la partie où est placé le beffroi auquel les cloches sont suspendues, et la couverture ou comble, qui s'élançe en pointe aiguë, reçoit aussi le nom de clocher.

Nous donnons, planche CXI, les détails de plusieurs clochers; quelques-uns sont tirés du recueil de Krafft.

§ 1. Clochers à faces planes.

La figure 1, pl. CXIV, est la projection verticale, et la figure 2 la projection horizontale du clocher d'une petite église.

La fig. 3 est la coupe par un plan vertical d'un clocher d'une église plus grande (1).

La figure 4 est le plan de l'enrayure *a b*.

La figure 5 est le plan de l'enrayure *c d*.

La figure 6 représente un clocher dont les arêtiers répondent aux milieux des murs de la tour, et dont les raccordements des faces du clocher avec les arêtes de la tour sont formés par de petits arêtiers et des noulets. La figure 7 est sa projection horizontale. Nous ne donnons point de détails de la charpente de ce clocher, qui est composée comme celle de la figure 3.

Un clocher à huit pans est représenté en projection verticale, fig. 12, et en projection horizontale, fig. 13. Les pans qui répondent aux arêtes verticales de la tour sont raccordés avec le carré de l'enrayure près des petits arêtiers avec noulets.

La figure 21 est la projection verticale, et la figure 22 la projection

(1) Quoique la coupe soit censée passer par l'axe, on a figuré les moises et le grand poinçon comme s'ils n'étaient pas coupés.

horizontale d'un clocher à pans en losange, de façon que le toit paraît s'appuyer sur les quatre frontons aigus qui couronnent les faces de la tour. La construction de ce toit est la même que celle du toit que nous avons représenté, fig. 1 et 2, pl. L, sinon que la forme du clocher est plus aiguë. Une enrayure qui repose sur les sommets du fronton porte les arêtiers. La grande enrayure, placée au niveau des naissances des frontons, porte les arbalétriers des croupes. Le reste de la construction est pareil à celle détaillée, fig. 3.

§ 2. *Clocher brisé de Bâle.*

La figure 14, pl. CXIV, est la projection verticale d'un clocher, dit brisé, exécuté à Bâle, en bois de sapin, sur les dessins de M. Coucher; la fig. 15 en est le plan; la fig. 19 est une coupe de ce même clocher, sur une échelle quadruple; la fig. 17 est, sur la même échelle, le quart du plan de l'enrayure établie à la hauteur de la corniche de la tour, et la fig. 18 est le quart du plan de l'enrayure placée à moitié de la hauteur du clocher.

La hauteur de la planche n'ayant pas permis d'y comprendre la totalité de la boule qui couronne le toit de la lanterne, elle est représentée figure 20.

§ 3. *Clochers à renflement.*

La figure 10 et la figure 11, pl. CXIV, réunies, forment la coupe d'un clocher à huit pans, dit à renflement.

Ce genre de clocher a été usité dans quelques départements du nord et de l'est de la France et en Allemagne.

Cette figure a pour objet de montrer comment on construit ces renflements qui ne sont que des objets de décoration extérieure, et qui ont été de mode il y a un siècle ou deux. Ce clocher porte deux lanternes, l'une au-dessus de l'autre; le quart de son plan est tracé fig. 16.

La figure 8 est une projection verticale de la forme extérieure de ce clocher; quatre de ces pans sont raccordés avec le plan de l'enrayure qui repose sur le sommet de la tour, par des adoucissements qui donnent lieu à des arêtiers déterminés par des sections faites par des plans verticaux dans les pans parallèles aux faces de la tour.

La fig. 9 est la projection verticale d'un clocher à renflement, d'un autre modèle, dont la charpente est exécutée suivant le même mode que celui de la figure 11.

V.

FLÈCHES.

§ 1. *Flèche droite de la Sainte-Chapelle.*

Les flèches ont beaucoup de ressemblance avec les clochers aigus; le plus ordinairement elles servent de couronnement à des dômes ou même à des clochers, mais ce qui les distingue surtout, c'est leurs formes très-aiguës et très-élevées. On voyait, encore vers 1790, au-dessus du comble de la Sainte-Chapelle, à Paris, une flèche remarquable par la richesse de sa décoration, et par son extrême légèreté.

Nous en donnons un croquis, fig. 6, pl. CXII, d'après d'anciennes gravures. Cette flèche avait remplacé un clocher qui fut détruit par l'incendie de 1638. La charpente de cette flèche était regardée comme la plus belle et la plus hardie de Paris; elle était construite sur le milieu de la longueur du comble, son axe répondant au faitage; elle était portée par les maîtresses fermes qu'elle chargeait d'un poids considérable. C'est probablement à cette disposition qu'on doit attribuer l'état de ruine qui a déterminé à la démolir. Elle est rétablie.

§ 2. *Flèche torse de Gaillon.*

Une autre flèche au moins aussi remarquable que le clocher de la Sainte-Chapelle, était celle de la Chartreuse de Bourbon-les-Gaillon. Cette flèche était torse; elle avait été construite par N. Fourneau, qui donne la description du tracé qu'il a suivi pour faire ses projections (pl. XCIV et XCVI) de son *Art du trait*. Il promettait plus de développements dans un grand ouvrage qu'il n'a pas fait. Nous tâcherons d'y suppléer, dans les détails que nous allons donner, en rectifiant la méthode de tracé qu'il a indiquée.

La figure 12 de notre planche CXV représente cette flèche comme Fourneau l'a décrite.

S'il faut en croire une gravure que je possède, et d'autres anciennes gravures, sa forme n'était pas exactement comme Fourneau l'a décrite; elle présentait plutôt un cône tors du genre des colonnes torses employées autrefois dans l'architecture; il est probable que Fourneau se

proposait d'en donner une représentation fidèle dans le grand ouvrage qu'il projetait; quoi qu'il en soit, voici les principes généraux du tracé de ces sortes d'ouvrages.

La figure 8 est un plan ou projection horizontale de la flèche, que nous supposons tronquée par un plan horizontal, au niveau de la ligne xy , fig. 12 : la hauteur cs de la flèche, fig. 12, et le diamètre ab , fig. 8, du cercle dans lequel sa base polygonale est inscrite, étant donnés, on trace le développement as , b fig. 7, du cône fictif qui enveloppe la flèche, sur lequel les droites génératrices représentent les arêtes qui conviendraient à une flèche pyramidale non torse établie sur un plan octogonal, fig. 8.

Fourneau fixe à volonté l'inclinaison ad qu'il veut donner aux courbes arêtières, qu'il appelle *ixodromiques* (1); et il suit, pour tracer ces courbes sur le développement, sa méthode que nous avons décrite page 239.

Attendu que cette méthode ne laisse pas le constructeur maître du point d'arrivée et du nombre de tours de l'hélice, nous avons préféré employer notre procédé décrit page 98. Ainsi nous avons voulu que la spirale, partant, par exemple, du point a du polygone de la base, rencontrât la génératrice sa au point b' ou a' , fig. 7, après avoir fait deux tours, la longueur $sa' = s'b'$ étant donnée.

On voit, que comme nous l'avons dit précédemment, la question se réduit à intercaler, entre sa' et sa , un certain nombre de moyennes proportionnelles, vingt-trois dans l'exemple dont il s'agit : ce que nous avons fait par le moyen graphique que nous avons indiqué page 98.

Les longueurs de ces proportionnelles, marquées par les rayons du développement, nous ont donné les vingt-trois points cotés de 1 à 23, appartenant à la spirale logarithmique qui est une des arêtes de la flèche torse; nous nous sommes contenté, sur la fig. 7, de marquer en traits pleins le polygone logarithmique passant par ces mêmes points. Les autres arêtes sont en lignes ponctuées.

Du point s , comme centre, nous avons tracé des arcs de cercle qui passent par ces points; ils représentent, sur le développement, la trace des plans horizontaux aux mêmes hauteurs que ces points, et qui coupent la surface conique fictive de la flèche suivant des cercles. Les rayons sb , sc , sd , se , sf , sg , sh , $s-8$, si , $s j$, sk , etc., étant rapportés, à partir du point s sur la génératrice sm du cône fig. 12, les horizontales passant

(1) Il est probable que ce nom, qui ne signifie rien, est une corruption de *loxodromique* qui désigne la nature d'une courbe qui a une *course oblique*.

par les points *b, c, d, e, f, g, h, 8, i, etc.*, sont les projections et traces de ces plans, et leurs rencontres avec les lignes *sm, sp, sc, sq, su* donnent les points des projections verticales des spirales qui sont les arêtes de la flèche pyramidale torse.

Sur la figure 8 sont les projections horizontales de ces arêtes; nous ferons remarquer que nous ne donnons cette figure que pour compléter la description de la forme de la flèche, mais qu'elle n'est pas nécessaire pour son exécution.

Pour exécuter une pareille flèche, il est évident qu'il faut d'abord que des pièces de bois, taillées en forme d'hélice, forment les arêtiers. Deux méthodes de construction se présentent pour soutenir ces arêtiers; on peut n'employer que des enrayures, ou simultanément des arbalétriers et des enrayures.

1^{re} méthode. — Les fig. 14, 15, 16 et 17, et pl. CXV, se rapportent à cette méthode.

La figure 17 est le plan de la première enrayure, servant de naissance à la flèche.

La figure 15 est celui d'une enrayure placée à la hauteur de la ligne *dd*, fig. 12.

La figure 16 représente les courbes arêtières comprises entre ces deux enrayures.

Ces trois projections, vu la petitesse de l'échelle (quoiqu'elle soit le double de celle de la figure 12), ne doivent être considérées que comme des croquis. La projection verticale, fig. 16, est supposée faite sur un plan vertical parallèle à l'un des côtés *cq*, fig. 8, de la base de la flèche; en *c, p, m, p', a, q', n, q*, fig. 17, sont les pas des arêtiers. On suppose que les arêtiers diminuent à mesure qu'ils s'élèvent vers le sommet. De quelque façon et à quelque hauteur qu'on fasse une coupe par un plan horizontal, la section est une figure semblable. C'est ainsi que sur l'enrayure, fig. 15, qui est vue en dessous, les occupations de ces arêtiers sont semblables aux pas marqués sur la figure 17.

Un arêtier, celui *pvr* de la figure 16, est mis en projection horizontale en *pvr*, fig. 17. Dans l'une et l'autre projection, les points des cinq courbes de la pièce de bois formant un arêtier, s'obtiennent par l'opération que nous avons décrite ci-dessus, pages 247 et 248. Après avoir fait les projections de l'arête spirale, tant au plan vertical qu'au plan horizontal, on suppose une suite de plans horizontaux, dans lesquels on donne à la coupe de la pièce formant l'arête, la même figure qu'aurait, au même niveau, une arête droite d'une flèche qui ne serait point torse.

Ce sont, au surplus, des détails de projections sur lesquels nous ne pouvons pas longuement insister, car nous devons supposer que, si le

lecteur nous a suivi depuis le commencement de ce traité, il doit être habile dans toutes ces sortes d'opérations.

Les enrayures sont soutenues, à toutes les hauteurs qui leur conviennent, par un poinçon ou aiguille qui monte depuis le dôme jusqu'au sommet, comme dans le clocher de la figure 3, pl. CXIV. Ces enrayures ne suffisent point au soutien des arêtiers en spirale, et l'écartement de ces arêtiers peut être trop grand, surtout vers le bas de la flèche, pour assurer la solidité du lattis qui doit porter la couverture en voliges; il faut donc que des empanons verticaux complètent cette charpente. Mais comme les surfaces des pans tors sont des surfaces gauches, engendrées par des horizontales, qui s'appuient sur les arêtes en hélice, il faut creuser les empanons suivant les sections faites dans ces surfaces, par les plans verticaux qui sont les faces latérales desdits empanons. Ces empanons sont distribués dans toute la hauteur de la flèche, suivant seize plans verticaux par l'axe, de telle sorte que, seize par seize, ils se correspondent et soutiennent les arêtiers tors.

La figure 14 représente, rabattue sur la gauche, la coupe de la partie de la flèche projetée fig. 16, par le plan vertical, qui a pour trace verticale la ligne SB , et pour trace horizontale la ligne CB , fig. 17.

Les empanons, gabariés suivant la coupe de la surface gauche, y sont représentés de profil; ils sont vus de face dans la fig. 16.

Les rectangles z , fig. 17, sont les pas des arcs-boutants de l'aiguille, comme dans la figure 3, pl. CXIII, que nous n'avons point marqués, fig. 16, pour ne point cacher les projections des arêtiers.

Nous avons, sur la figure 7, marqué en herse des parties d'arêtiers et des empanons. Cette herse sert à donner à ces empanons une coupe convenable, pour leurs assemblages entre les courbes des arêtiers.

II^e méthode. — Les figures 10 et 11, pl. CXV, sont relatives à la construction des flèches torsées, au moyen d'arbalétriers.

La figure 10 représente, en projection horizontale, une des enrayures établie à différentes hauteurs de la flèche; elle s'assemble dans l'aiguille, par ses quatre entrails, et dans les huit arbalétriers droits, par les bouts de ces mêmes entrails et les bouts de ses coyers. Les coupes horizontales des arbalétriers, au niveau de l'enrayure, sont représentées par les rectangles u ; les figures pentagonales w sont les coupes horizontales des arêtiers en spirale.

La figure 11 est une coupe verticale d'une partie de la flèche, suivant la ligne brisée $z y$ de la figure 10. Dans cette coupe on a marqué l'aiguille A , les pièces de l'enrayure, un arbalétrier u , trois coupes w des arêtiers et les profils des empanons e assemblés entre les arêtiers. On voit, par cette coupe, que les arêtiers en spirale sont assemblés

par entailles sur les arbalétriers, et qu'ils y sont retenus par des boulons.

III^e méthode. — On donne aux arbalétriers une forme profilée suivant la section verticale méridienne, fig. 11, comme serait celui compris entre les courbes du profil extérieur *e w e w e* et la ligne *s t*; les arêtiens commençant à la naissance de la flèche, et se terminant à son sommet, sont formés de plusieurs tronçons assemblés à la suite les uns des autres dans les faces de ces arêtiens : les parties de ces courbes rampantes des arêtiens se trouvent ainsi comprises entre les faces des arbalétriers.

Quoique Fourneau ne l'ait pas formellement exprimé, il est présumable que c'est ainsi qu'il avait exécuté la flèche de Gaillon.

Entre les arbalétriers d'une courbe rampante à l'autre, seraient comme précédemment, les empanons.

Nous avons fait remarquer ci-dessus que la gravure que nous possédons, représentant une vue perspective de la Chartreuse de Bourbon-lez-Gaillon avec sa flèche torse, donne à cette flèche un contour apparent qui indiquerait que sa surface n'était pas composée de pans tors, mais bien qu'elle aurait été analogue à celle des colonnes torses.

Cette forme peut être engendrée par la torsion ou l'enroulement en spirale de l'axe d'un cône droit, à base circulaire, autour d'un autre cône, de façon que les cercles horizontaux de la surface du cône droit, se trouvent, par cette transformation en flèche torse, avoir leurs centres sur la spirale tracée sur le cône droit intérieur. Ainsi, soit *s s*, fig. 22, le sommet commun de deux cônes, l'un *a s b*, qui est la projection de la flèche non torse qui a pour axe la verticale *s c*, et pour base le cercle *m*, fig. 23; l'autre *d s e*, qui a pour base le cercle *n*.

Le cercle *p*, tracé dans le cône droit, à la hauteur *v x*, est transporté au même niveau en *p' p* dans la flèche torse, son centre se trouve dans le point *z*, et le plan *v x* coupe l'hélice tracée sur le cône intérieur.

La flèche torse peut être aussi formée par un tore décroissant de largeur, enroulé sur un cône droit, en suivant la ligne en spirale qui déterminerait des arêtes creuses; les empanons donneraient pour sections verticales des arcs de courbe convexe, comme *m p n*, fig. 14, ou pour sections horizontales des arcs de courbe *x y z*, fig. 13; ils pourraient aussi donner des arcs concaves *n o r*, fig. 13, ou des arcs de courbe convexe et concave alternativement.

On voit donc qu'on peut varier de beaucoup de manières ces sortes de morceaux d'étude, qui, au surplus, se rapprochent beaucoup des pièces que l'on appelle courbes rampantes, dans les escaliers qui font l'objet du chapitre XXXV, et dont l'étude peut faciliter beaucoup celle de la construction des flèches et des dômes tors.

M. Protot a donné, pl. XXIX de son *Traité* que nous avons déjà cité,

chap. XVIII, 9°, une épure d'une flèche torse; selon lui, d'après Fourneau, mais malgré la perspective qui l'accompagne, une flèche exécutée telle qu'il la présente, ne serait nullement torse, elle serait conique droite. C'est, au surplus, une pièce qu'on peut exécuter comme étude. C'est une sorte de panne ou lierne contournée suivant la courbure d'une hélice comme un limon d'escalier, mais il ne faudrait pas s'attendre qu'elle donnerait pour résultat une flèche torse.

IV.

BEFFROIS.

Dans le moyen âge, on a donné le nom de beffroi à une tour carrée sur laquelle une sentinelle, dominant toutes les maisons d'une ville, était chargée de sonner une grosse cloche lorsqu'il s'agissait de donner l'alarme à toute la population; cet usage s'est conservé, jusqu'à ce jour, dans un grand nombre de villes, notamment pour les incendies.

La cloche d'alarme, aussi bien que la charpente qui la soutenait dans la tour, étaient nommées beffroi, et depuis, ce nom a continué à être donné aux charpentes qui soutiennent les cloches, et qui rendent les clochers indépendants des vibrations occasionnées par les cloches lorsqu'on les sonne.

L'usage de sonner les cloches en les frappant de leurs battants, sans les mettre en branle, peut dispenser de l'usage des beffrois en charpente; mais comme on croit que par ce mode, le son des cloches est moins éclatant et qu'il se propage moins loin, les beffrois seront probablement longtemps encore en usage.

La figure 2 de la planche CXV représente le plan d'un clocher carré, en charpente, dans l'intérieur duquel un beffroi est établi pour quatre cloches. La figure 2 est une coupe et projection verticale suivant la ligne *a b* du plan, et la figure 19 une coupe suivant la ligne *c d*.

Ce beffroi est composé de six poteaux ou montants, tant soit peu inclinés *e*, qui soutiennent les sommiers *m*, *n* sur lesquels sont les chantignoles *o* portant les paliers dans lesquels tournent les tourillons des moutons (1). Les sommiers *m* sont soutenus, chacun dans son milieu,

(1) On donne le nom de *moutons* aux pièces de bois auxquelles les cloches sont fixées. Nous en comprenons un détail dans le chapitre L.

par un poteau *p*; des écharpes et des croix de Saint-André consolident cette combinaison. On a soin de placer les cloches du même calibre du même côté, et d'établir les axes des moutons dans le même sens, afin que la vibration et le hieiment résultant de la mise en branle et en volée des cloches, aient lieu dans le même sens, pour que l'on n'ait à opposer à ce mouvement que des écharpes ou des croix également établies dans le même sens. Les sommiers doivent être assez écartés pour que les cloches, en faisant un tour entier sur les axes de leurs moutons, ne se rencontrent point.

Les charpentiers de machines donnent le même nom de *beffroi* à la charpente indépendante de la bâtisse des moulins, et qui est destinée à supporter les parties servant directement à la mouture.

CHAPITRE XXXIII.

EMPLOI DES FERRURES DANS LES CHARPENTES.

Le fer est employé dans les charpentes, dans différentes circonstances, pour unir les pièces de bois entre elles, pour accroître leur force, pour consolider les assemblages, pour établir des soutiens, pour servir d'intermédiaire dans les contacts des bois, et enfin pour fonctionner en remplacement de quelques pièces de charpentes.

Les anciens ne faisaient point usage du fer dans leurs constructions en bois, ainsi qu'on peut s'en convaincre par le dessin de l'ancienne basilique de Saint-Pierre de Rome que Fontana nous a conservé, et dont nous avons parlé ci-dessus, page 110. Ce n'est que peu à peu que l'emploi du fer, dans les charpentes en bois, s'est répandu; il a d'abord servi à l'union des pièces et à la consolidation des assemblages, et ce n'est que depuis un petit nombre d'années que la préférence donnée aux charpentes en fer, étant devenue fréquente, on a essayé d'employer le fer en le faisant fonctionner comme supports ou comme tirants dans les charpentes en bois.

La description des fers employés dans les charpentes nous paraît aussi complète qu'on peut le désirer, en joignant aux figures fort détaillées, et dans des proportions suffisantes, qui composent la planche CXVI, une légende avec quelques courtes explications, comme il suit, en classant toutefois ces fers en cinq catégories principales suivant leurs destinations.

I.

FERS EMPLOYÉS POUR FIXER OU POUR LIER DES PIÈCES DE BOIS.

§ 1. Clous.

Fig. 1, pl. CXVI, clou, dit pointe de Paris, à tête rase, parce qu'on la fait entrer dans le bois et que, suivant le besoin, elle affleure la surface de la pièce clouée, ou qu'elle y est noyée à la profondeur qu'on veut,

en la chassant avec un outil appelé chasse-pointe, semblable à une lame de poinçon coupée par le bout.

Fig. 2, pointe à tête plate, pour attacher ou joindre de petites pièces de bois les unes aux autres.

Fig. 3, pointe à tête ronde; elle forme saillie au-dessus du bois, pour faciliter le moyen de l'arracher si cela devient nécessaire.

Le commerce fournit des pointes de toutes les grosseurs, et de toutes les longueurs jusqu'à (0^m,081) suivant les besoins du travail.

Fig. 4, broquette, dite de tapissier, propre à clouer de la toile sur du bois.

Fig. 5, broquette à tête ronde, propre au même usage.

Fig. 6, clou à plancher et à lattes, suivant sa grandeur.

Le commerce fournit des clous de cette forme, de toutes les longueurs et de toutes les forces, jusqu'à 0^m,108 à 0^m,135 de longueur; lorsqu'un travail nécessite des clous au-delà des mesures marchandes, on les fait forger par les serruriers. Ces clous, suivant leur grosseur ou largeur, servent à attacher les planches, les voliges et les lattes sur les solives ou sur les chevrons des toits, et à fixer certaines pièces les unes sur les autres ou contre des murs.

Fig. 7, clou à parquet à ailerons; les clous à ailerons ne servent que pour la construction des planchers, nous en avons parlé page 369 du tome I^{er}.

Fig. 8, broche; les broches tiennent lieu de grands clous; elles servent à fixer des bois posés les uns sur les autres; elles doivent être fabriquées avec les meilleurs fers.

M. Emmery (*Pont d'Ivry*, page 129), remarque que les chevilles de fer, ou broches, dont les pointes sont coniques ou pyramidales, déterminent presque toujours des fentes dans le bois; il recommande avec raison de former leurs extrémités en lames plates et tranchantes, à deux biseaux, comme celle d'un fermoir, fig. 18, et lorsqu'on les chasse, il faut que le tranchant de chacune soit perpendiculaire aux fibres du bois, et non dans leur sens, pour qu'il les coupe, qu'il ne les déchire pas, et qu'il ne les écarte pas.

Fig. 9, clou à tête ronde; ils ne s'emploient que pour fixer des bandes de fer sur le bois.

Fig. 10, crampon à deux pointes; les crampons de cette forme servent à fixer sur les bois des bandes de fer qu'on ne veut point percer pour les attacher avec des clous.

Fig. 11, clou à patte percée, représentée par deux projections. Les clous de cette espèce servent à fixer les pièces de bois les unes contre les autres, ou contre des murs; la pointe est chassée dans le corps auquel on veut

attacher une pièce, la patte s'étend sur la pièce attachée, et un clou la fixe; un talon reçoit par l'intermédiaire d'un ciseau, le coup du marteau que la patte ne pourrait supporter.

Fig. 12, clou à patte servant à maintenir ou à supporter une pièce de bois, lorsqu'il ne s'agit pas de la fixer : un talon en arrière de la patte comme dans la précédente, reçoit l'action du marteau, qui écraserait la patte et formerait un bourrelet du côté de la face où elle doit être en contact avec le bois si l'on frappait sur le bout.

Fig. 13, clou à patte à crochet représenté par deux projections; il sert à fixer des bois contre un mur.

Fig. 14, clou à piton terminé par un anneau servant à attacher divers objets à des pièces de bois.

Lorsque les pointes des clous, de quelque espèce que ce soit, dépassent l'épaisseur des bois qu'ils traversent, on les rive, c'est-à-dire qu'après avoir courbé à angle droit, avec le marteau, le bout de la pointe à quelques millimètres de son extrémité, on couche toute la longueur du clou qui dépasse, et l'on fait entrer la pointe courbée dans le bois; on a soin de soutenir le coup en appuyant un marteau sur la tête du clou, afin d'empêcher de ressortir par l'effet du coup qui sert à river sa pointe.

§ 2. Vis.

Tarauder une pièce de fer, c'est former autour de sa surface cylindrique, ou autour des parois d'un trou qu'on y a percé, des filets d'hélice. Les filets tracés extérieurement sur le bout d'un cylindre sont des *pas de vis*, ceux tracés dans l'intérieur d'un trou, sont des *pas d'écrou*.

Les vis, ou clous à vis, sont des clous faits avec plus de soin que ceux qui restent bruts comme ils sortent de la forge, ils sont finis sur le tour; la lame de chacun est cylindrique ou très-peu conique, et taraudée par le bout sur une plus ou moins grande étendue de sa longueur, suivant le besoin. La tête d'une vis qui a plus d'épaisseur que celle d'un clou, est fendue dans le plan de son axe pour donner prise à l'outil appelé *tourne-vis* qui sert à introduire les vis dans le bois en les tournant sur leurs axes. Il y a des vis de toutes les longueurs et grosseurs. Pour qu'une vis soit bonne, il faut que le filet soit mince et tranchant par son arête; que le fond du pas soit plutôt en forme de gorge que carré, que le pas soit bien égal quant à sa hauteur; que le corps non taraudé soit cylindrique pour qu'il n'oppose point de résistance en entrant dans le trou percé pour le recevoir; du reste, la vis, dans sa partie taraudée, peut être tant soit peu conique, et cette forme a l'avantage de la rendre

plus fixe dans sa direction, à mesure qu'elle pénètre dans la pièce où elle doit rester fixée en pressant celle qu'elle traverse.

Fig. 15, pl. CXVI, vis à tête ronde; elle peut être employée sur le bois, la tête dépassant de tout son arrondissement la surface de la pièce. Lorsqu'on veut que la tête ne dépasse point le bois, il faut, à l'avance et avant d'avoir percé le trou dans lequel la vis doit pénétrer, lui préparer un logement avec une mèche anglaise : il est important de se servir d'une mèche de cette espèce, afin que le fond du logement de la tête de vis soit creusé, comme on dit, bien carrément, c'est-à-dire bien plan et bien perpendiculairement à la direction que la vis doit suivre en pénétrant dans le bois, et à celle de l'effort auquel la tête doit résister, afin de ne point la faire sauter.

Fig. 16, vis à tête fraisée : les vis de cette forme ne doivent être employées que pour l'application des pièces de métal sur le bois, lorsqu'on veut que sa tête affleure la surface du métal dans lequel le logement de la tête conique a été fraisé au moyen d'une fraise conique à côtes tranchantes.

On doit éviter de se servir de vis à tête fraisée dans les pièces de bois, attendu que dans les pièces minces la forme conique, faisant office de coins, les fait éclater, et que dans les bois épais, et surtout dans les bois mous, cette forme tend à s'enfoncer par l'effet de l'effort supporté par la vis, qui dès lors cesse de serrer.

Fig. 17, vis à tête plate, en usage lorsqu'on veut que, la tête étant logée dans le bois, elle en effleure la surface; dans ce cas, le logement de la tête est fait avec une mèche anglaise qui creuse ce logement exactement suivant le diamètre de la tête, le fond étant, comme nous l'avons dit ci-dessus, dressé bien carrément.

Ces vis ne se trouvent pas encore dans le commerce; il faut les commander et prescrire que toutes les têtes soient d'un égal diamètre et d'une égale épaisseur. Afin que la même mèche anglaise puisse servir pour faire tous leurs logements de même grandeur et de même profondeur, on fixe, par une vis de pression, une embase en cuivre sur la mèche anglaise, fig. 19, pour arrêter son action dès qu'elle atteint la profondeur voulue.

Dans les bois tendres, il suffit d'avoir amorcé le trou dans lequel la vis doit pénétrer pour que sa partie taraudée se fraye elle-même son passage, lorsqu'on la tourne avec le *tournevis*, ayant le soin de maintenir son axe dans la direction qu'il doit avoir; c'est même le moyen de lui donner toute la solidité désirable, parce que ses filets sont mieux remplis par le bois que si l'on perçait d'avance le trou qu'elle doit occuper. Mais dans le bois dur, il faut ouvrir le chemin que la vis doit parcourir, soit avec une vrille,

soit avec une mèche de vilbrequin, suivant la grosseur de la vis. Il faut que le trou soit assez profond pour que le bout de la vis ne l'atteigne pas, autrement elle produirait un effet tout contraire à celui qu'on attend de son service; on doit avoir le plus grand soin de ne point forcer le trou avec une ville ou avec une mèche qui soit plus grosse que le noyau de la vis, non compris les saillies de ses filets, il faut même que la mèche soit plus petite, vu qu'une mèche perce presque toujours un trou plus large que son diamètre. Cette précaution est indispensable pour que les lames des filets pénétrant dans le bois franc, lorsqu'on tourne la vis, afin qu'elles y trouvent un appui solide.

Quelquefois, lorsque les serruriers appliquent des ferrures sur des bois, en faisant usage de vis, ils enfoncent ces vis à coups de marteau comme ils chasseraient des clous; c'est un usage pernicieux, parce que les vis, en pénétrant ainsi dans le bois, le déchirent, et leurs filets n'y trouvent plus aucun appui. Les serruriers prétendent que l'élasticité du bois le fait revenir pour remplir les pas des vis; c'est une erreur, et leur procédé un abus très-blâmable. On doit veiller à ce qu'ils posent les vis en les tournant avec le *tournevis*, et avec les précautions que nous avons prescrites.

En général, il est utile, pour la conservation des vis, de les graisser avant de les placer dans le bois, pour qu'elles ne s'y rouillent point.

Dans les lieux humides, on doit préférer les vis en cuivre, mais il faut les employer plus fortes que celles de fer; il faut même les faire confectionner exprès, la plupart des vis marchandes étant en laiton moulé, au lieu qu'il faut, pour être bonnes, qu'elles soient confectionnées avec des gros fils de cuivre de laiton étiré à la filière.

Fig. 18, piton à vis pour le bois.

Fig. 20, crochet à vis pour le bois.

§ 3. Clameaux.

Les clameaux sont des clous ou crampons à deux pointes coudées, que l'on emploie pour fixer, les unes aux autres, les pièces de bois des constructions provisoires; on fait usage de deux sortes de ces crampons, les clameaux plats à une face, et les clameaux à deux faces : ceux-ci sont encore de deux espèces, suivant qu'ils sont tournés à gauche ou à droite.

Les fig. 41 et 43, pl. CXVI, représentent, chacune par deux projections, un clameau plat.

Dans la figure 41, le clameau est fabriqué avec du fer carré; dans la seconde, il est formé avec du fer plat.

Les fig. 40 et 44 représentent aussi, chacune par deux projections, un clameau à deux faces.

Dans la fig. 40, le clameau est supposé en fer carré et tourné à gauche; dans la fig. 44, le clameau est supposé fabriqué en fer plat et tourné à droite.

Un clameau est à gauche ou à droite, suivant que l'une de ses pointes étant en dessous et verticale, l'autre pointe, qui se trouve horizontale, est tournée à gauche ou à droite, par rapport au corps du clameau, en allant de la première à la seconde pointe.

Le commerce ne fournit point de clameaux; il faut les faire fabriquer par un forgeron. Lorsqu'on fabrique un clameau, il faut, en forgeant le barreau de fer, fig. 39, pour l'étirer à la longueur et à la grosseur qu'on veut, faire ses pointes avant de le plier, et réserver pour chaque coude, fig. 42, un renflement *m* pour fournir à l'allongement du fer sur le dehors de chaque coude *n*, fig. 40, 41, 43 et 44, et pour préparer une assiette suffisante aux coups du marteau, lorsqu'on enfonce les pointes du clameau dans le bois.

Nous avons représenté, par une projection et une coupe, fig. 7, pl. CXXIX, deux pièces de bois juxtaposées et liées par des clameaux plats; il faut, autant que possible, que les clameaux prennent autant de bois sur une pièce que sur l'autre; et souvent, pour retenir le déversement des pièces à l'égard l'une de l'autre, on met autant de clameaux en dessus qu'en dessous, comme on le voit fig. 6; et l'on a soin qu'ils ne se correspondent point, pour que les pointes ne se rencontrent point et qu'elles ne fassent point fendre les pièces.

Nous avons aussi représenté, fig. 9, par trois projections perpendiculaires l'une à l'autre, un clameau à droite, *a*, liant deux pièces qui se croisent.

Lorsqu'on craint le déversement des pièces, l'une à l'égard de l'autre, on place un second clameau *b* dans l'angle opposé, où nous ne l'avons marqué qu'en lignes ponctuées; ce clameau est encore à droite: pour employer des clameaux à gauche, il aurait fallu les placer dans les angle *d*, *e*.

§ 4. Boulons.

Les boulons sont des tiges de fer qui, au moyen d'arrêts à chaque extrémité, servent à lier fortement les unes contre les autres des pièces de bois qu'elles traversent. Jadis on employait, pour le même objet, des clefs de bois et des clavettes, comme nous en avons décrit page 293 du tome I^{er}, fig. 2 de la pl. XXI; on en voit encore dans quelques charpentes très-anciennes, et l'on est étonné de la force que présente ce

moyen de réunion. Depuis, on a peu à peu substitué à ses clefs, d'abord des boulons à clavettes, et enfin des boulons à vis et écrou.

Les trous au travers desquels passent les boulons doivent être percés avec grand soin, très-justes, aux diamètres des boulons, très-droits et exactement dans la direction de l'action de ces boulons.

Dans les 18 figures des boulons qui vont être décrits pl. CXVI, chaque boulon est projeté sur un plan parallèle à son axe, et supposé vertical; au-dessus et au-dessous sont les projections horizontales de chaque tête de boulon ou de son écrou, ou des coupes horizontales suivant les lignes $x y$.

Il est entendu que les épaisseurs des pièces de bois qu'un boulon doit serrer l'une contre l'autre, se trouvent comprises entre la tête du boulon et son écrou. On n'a point marqué ces épaisseurs sur les figures des n^{os} 21 à 38, parce que ces figures ont pour unique objet la représentation de diverses espèces de boulons considérés isolément.

Des pièces de bois serrées par des boulons sont figurées sous le n^o 4 de la planche XXI; d'autres sont figurées dans diverses circonstances d'assemblages que nous décrirons plus loin.

Fig. 21, boulon cylindrique à tête ronde, percé dans son extrémité d'une sorte de mortaise pour recevoir une clavette. Au-dessus de cette figure est une projection horizontale de la tête du boulon en calotte sphérique; au-dessous de la même figure est une coupe, par un plan horizontal, suivant la ligne $x y$.

La figure XXII représente le même boulon garni de sa clavette et de la rondelle qu'on interpose entre le bois et la clavette, pour que celle-ci ne s'y imprime point, et que la résistance à la pression soit plus grande, ayant lieu sur la surface de la rondelle, plus étendue que celle de la clavette. Pour qu'une clavette serre, il faut d'abord que son épaisseur remplisse la largeur de la mortaise du boulon; de plus, il faut qu'elle soit plus large à un bout qu'à l'autre, pour faire l'office d'un coin; il faut, en outre, que la mortaise présente son contact à la clavette, sous la même inclinaison que la face un peu en pente de cette clavette, afin que l'autre face s'applique exactement sur la rondelle, et celle-ci au bois, comme nous avons déjà dit, *carrément*, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe du boulon et à la direction de la résistance qu'il doit opposer.

La figure 23 est une seconde projection du même boulon.

Fig. 24, boulon cylindrique à tête carrée, taraudé.

Fig. 25, le même boulon garni de son écrou et de sa rondelle.

La tête d'un boulon de cette espèce est destinée à être noyée dans l'épaisseur de la pièce de bois et de façon à affleurer sa surface, elle doit avoir ce que l'on appelle un peu de dépouilles, c'est-à-dire que le carré du dessous de la tête doit être un tant soit peu plus petit que celui

du dessus, afin qu'en entrant dans le bois elle y soit complètement serrée.

Fig. 26, boulon cylindrique à tête hexagonale avec embase et écrou hexagonal avec embase. Ces embases sont ménagées tant à la tête qu'à l'écrou, pour que les angles des polygones ne s'impriment pas dans le bois. Cette précaution est surtout indispensable pour l'écrou dont les angles déchireraient la rondelle, lorsqu'on le tournerait, si sa base ne présentait pas une surface circulaire et unie.

On place souvent sous les têtes des boulons, comme sous leurs écrous, de larges et épaisses rondelles, afin d'augmenter les surfaces par lesquelles la pression est exercée sur le bois; dans ce cas, on peut donner des diamètres moins grands aux têtes des boulons et aux écrous.

Fig. 27, boulon cylindrique à tête cylindrique et avec écrou à oreilles ou ailerons, pour qu'on puisse le serrer par le seul effort des doigts, sans y employer aucune clef qui romprait les ailerons.

Les têtes de ces sortes de boulons doivent être noyées dans le bois, et un ergo ou deux petites gouilles saillantes au-dessous de la tête, en se logeant dans le bois, produisent une résistance suffisante pour empêcher le boulon de tourner lorsque l'on serre l'écrou.

Fig. 28, boulon cylindrique à tête dite romaine, avec sa rondelle; l'écrou est ordinairement logé dans l'une des pièces de bois, et c'est en tournant la tête avec une broche de fer passée, au moment du besoin, dans le trou qui y est ménagé, qu'on serre le boulon.

La pièce de bois *f*, fig. 56, assemblée à tenon et mortaise dans la pièce *d*, y est retenue par un boulon de cette espèce. Le trou du boulon traverse la pièce *d*, et pénètre, suivant le fil du bois, dans la pièce *e*, au milieu de son tenon. L'écrou est introduit à sa place par la mortaise *g*; au lieu d'une tête dite romaine, ce boulon a une tête hexagonale, et on le tourne avec une clef.

Fig. 29, boulon taraudé par les deux bouts. L'écrou inférieur se loge dans le bois par le côté de la pièce qui doit le recevoir; on y visse le bout taraudé du boulon, en le passant dans le trou foré pour le recevoir, et l'écrou supérieur est ensuite serré extérieurement avec une clef; une rondelle est placée entre l'écrou et le bois, sur lequel la pression est opérée.

La pièce *e*, fig. 56, assemblée à tenon et mortaise dans la pièce *d*, y est retenue par un boulon à deux écrous; l'un des écrous est introduit dans l'axe de la pièce *d* par la mortaise *g*; l'écrou extérieur est hexagonal et porte sur une rondelle.

C'est au moyen d'un boulon de cette espèce que l'arbalétrier *p*, fig. 61, est retenu sur la jambe de force *s*, qui y est assemblée à tenon et mortaise.

Fig. 30, boulon à tête et écrou coniques. Ce boulon s'emploie pour

fixer des ferrures incrustées dans le bois, et qui ne doivent avoir aucune saillie au-dessus de sa surface; la tête et l'écrou se noient dans des logements fraisés.

Figure 31, boulon cylindrique à tête conique, avec un écrou rond entaillé.

Fig. 32, boulon cylindrique à tête portant un carré; l'écrou en losange se noie dans le bois.

Fig. 33, boulon cylindrique à tête et écrou ronds, fendu en tête de vis.

Les écrous des boulons, fig. 30, 31 et 33, se serrent avec des clefs de la forme représentée fig. 77, ou de celle représentée fig. 80, qui est à poignée; la tête de l'écrou, fig. 33, est fendue, pour qu'on puisse l'empêcher de tourner quand on serre l'écrou, en la maintenant avec un large tournevis.

L'écrou du boulon, fig. 32, reste fixe dans le bois, pendant qu'on y visse le boulon en appliquant à sa tête une clef de la forme représentée fig. 74.

Fig. 34, boulon avec fausse tête à clavettes et écrou carré; ce boulon est employé lorsqu'on manque de place pour le faire entrer par le côté où la tête doit s'appliquer. Il est alors introduit en sens inverse sans tête ni clavette, et l'une et l'autre sont placées dès qu'il dépasse la surface du bois, sur laquelle la fausse tête doit s'appuyer; alors on serre l'écrou, qui peut avoir une telle forme qu'on voudra de l'une de celles que nous avons figurées.

On emploie des boulons de cette espèce, avec des écrous circulaires crénelés comme celui *a*, pour des assemblages de limons d'escaliers; nous en avons représenté un fig. 18, pl. CXXI. On tourne les écrous de cette sorte avec un ciseau engagé dans un de leurs crans, tangentiellement, et en frappant avec un marteau.

Fig. 35, boulon à tête et tige carrées.

On ne donne ordinairement aux boulons que le diamètre que l'on juge nécessaire pour qu'ils résistent à l'effort de traction qu'ils ont à supporter : mais leur longueur peut être telle que leur force ne soit plus suffisante pour résister en même temps à la torsion que peut produire l'écrou pendant qu'on le fait tourner pour le serrer; on peut alors employer des boulons à tiges carrées, comme celui de la figure 35. Le trou dans lequel on les place doit être percé rond, un peu moins grand que la diagonale du carré de la coupe *a* de la tige, afin qu'en chassant le boulon à coups de marteau ou de masse de bois, ses arêtes s'impriment dans les parois du trou, et que par ce moyen sa tige ne puisse se tordre lorsqu'on serre son écrou.

Si l'épaisseur des bois est très-grande, il est préférable de faire usage d'un boulon à deux écrous, fig. 54, plutôt que d'un boulon à tête. Le trou

est percé rond, du même diamètre par le boulon qui reçoit, par le bout qui a traversé le bois, un écrou rond *m* placé sans effort et qui fait office de tête, soit qu'il affleure, soit qu'il dépasse le bois; l'autre extrémité du boulon porte entre la tige et le taraudage, un renflement carré ou hexagonal, ou en ailerons *n* qui est introduit dans le logement qu'on lui a préparé dans le bois, et enfin l'écrou *p*, destiné à serrer, est placé avec sa rondelle. On peut aussi percer à cette même extrémité du boulon, une mortaise, fig. 55, pour recevoir une petite clavette de fer qui traverse la pièce de bois lorsqu'elle n'a pas une grande épaisseur. Ces dispositions ont pour but d'empêcher que la tige du boulon se torde lorsqu'on serre l'écrou.

Fig. 36, écrou à tête carrée et à tige à huit pans; on fait forger des boudons de cette sorte lorsqu'on manque de fer rond et de temps pour arrondir du fer carré dans des étampes.

Fig. 37, boulon cylindrique dans la majeure partie de sa tige, et carré près de sa tête ronde et en goutte de suif: ce boulon est employé lorsque sa tête doit s'appuyer sur des ferrures dans lesquelles sa tige trouve un trou carré.

Fig. 38, boulon à piton avec un écrou à une seule oreille.

Les boulons doivent être fabriqués avec le meilleur fer, non cassant; on doit les graisser avant de les placer, pour les garantir de la rouille. Il est indispensable de graisser aussi leurs taraudages et leurs écrous, aussi bien que leurs rondelles, afin de faciliter le mouvement de rotation que l'on donne aux écrous au moyen d'une clef pour serrer les pièces que les boulons traversent.

Lorsqu'on veut opérer une grande pression, il faut mettre plusieurs rondelles sous un même écrou, pour rendre le mouvement de rotation plus doux, parce que le frottement s'affaiblit en se répartissant entre les surfaces de toutes les rondelles; c'est pour obtenir ce résultat qu'on met presque toujours plusieurs rondelles aux vis des gros étaux des ouvriers qui travaillent les métaux.

Lorsqu'on fait fabriquer des boulons, il faut exiger :

1° Que les têtes soient refoulées sur les tiges, ou qu'elles soient bien soudées, et n'en admettre aucun dont les têtes seraient seulement rivées. Les têtes formées par un cordon soudé sur la tige, sont préférables à celles dont la soudure est obtenue en passant le bout de la tige dans un trou percé au centre de la pièce qui doit former la tête;

2° Que les filets soient taillés à froid, en coupant le fer avec une bonne filière qui enlève des copeaux, au lieu de comprimer et d'étirer le fer en refoulant les lèvres des filets pour former leurs arêtes (1);

(1) Quelques constructeurs ont recommandé de donner aux filets du taraudage des boulons, une forme arrondie, surtout dans les creux; il en résulterait que les filets des

3° Que le taraudage soit fait très-lentement, afin de ne pas rompre le nerf du fer, en l'étirant, dans le sens de sa longueur, trop vivement par l'action de la filière et en le tordant ;

4° Que l'écrou soit percé à froid, c'est-à-dire forcé, et qu'il soit taraudé avec le même soin que le boulon; qu'il ne soit pas déchiré dans la circonférence; que sa base soit perpendiculaire à son axe, pour que, lorsqu'il agit, il ne courbe pas le boulon en le tirant de travers ;

5° Que le profil du filet de l'écrou et celui du filet de la vis, ainsi que les diamètres et les pas de l'un et de l'autre, soient égaux, afin que tous les filets engagés dans l'écrou portent en même temps et fassent le même effort.

En général, la saillie des filets du taraudage d'un boulon sur son noyau doit être le dixième du diamètre du noyau, ou le douzième du diamètre total du boulon. Le pas, c'est-à-dire la quantité dont chaque filet monte sur un tour entier, doit être d'un cinquième ou d'un sixième du noyau, ou bien un sixième ou septième du diamètre du boulon.

Le diamètre extérieur d'un écrou doit être le double du diamètre du corps du boulon.

Les écrous doivent avoir assez d'épaisseur pour comprendre cinq ou six filets et même plus, si la pression à opérer doit être grande.

Ces rapports doivent être observés pour toutes les pièces de fer portant taraudage.

Si l'on craint qu'un écrou se desserre par un mouvement de rotation rétrograde occasionné par une cause quelconque, on ajoute un deuxième écrou sur le premier, que l'on serre fortement; il produit une si excessive pression entre les filets de la vis et ceux de l'écrou, qu'il n'y a pas de force capable de mouvoir le premier écrou; ce second écrou est nommé *contre-écrou*.

Lorsqu'il s'agit de produire une forte pression au moyen d'une pièce de ferrure taraudée, l'effort de la main ne suffit pas pour tourner les écrous; on

écrous devraient avoir leurs arêtes arrondies. Cette disposition pourrait être praticable pour les fers de très-petits diamètres; mais elle rendrait le taraudage très-difficile; elle exposerait à l'inconvénient qu'il est le plus important d'éviter, celui du taraudage par compression; d'un autre côté, elle présenterait dans le contact des filets de l'écrou avec ceux de la vis, des surfaces qui auraient trop peu d'inclinaison par rapport à l'axe, et qui occasionneraient des pressions et par conséquent des frottements excessifs, qui seraient aussi nuisibles aux vis qu'aux écrous. Après les filets carrés des grosses vis, les meilleurs sont les filets angulaires, sous le rapport de la bonté du taraudage comme sous celui de l'usage. On cite une expérience dans laquelle une soudure de fil de fer de 0^m,006 a cédé plutôt que sa partie taraudée à filets arrondis dans leur fond. Elle prouve seulement que la soudure ne valait ni le corps du fil de fer ni son taraudage, mais elle ne prouve nullement que les filets arrondis soient meilleurs que les filets angulaires.

se sert alors d'un outil que l'on appelle *clef*, dont nous n'avons point parlé dans le chapitre I^{er}, parce qu'il ne sert pas directement au travail du bois, et qu'il nous a paru plus convenable de le rapprocher des ferrures auxquelles son usage s'applique.

La fig. 74, pl. CXVI, est une *clef* double pour tourner les écrous carrés et au besoin les têtes des boulons de même forme.

Fig. 75, *clef* droite simple, pour les écrous et têtes à six pans.

Fig. 76, *clef* double en S pour saisir des écrous carrés que l'on ne peut atteindre directement; on fait des *clefs* courbées de la même manière pour des écrous hexagonaux.

Fig. 77, *clef* fourchue pour les écrous qu'on ne peut saisir que latéralement.

Fig. 78, *clef* pour agir par son extrémité *a* sur un écrou de la forme fig. 30, et de son bout *b* sur celui de la fig. 31.

Fig. 79, *clef* dite anglaise, qui convient à des écrous de plusieurs dimensions, parce que la distance entre les deux mâchoires *m*, *n* peut changer, suivant la grosseur de l'écrou à saisir; la mâchoire *n* fixée à la tige *o* est mobile avec cette tige, elle s'écarte ou se rapproche de la mâchoire *m* fixée à la tige *u*, lorsque tenant d'une main les deux tiges *o* *u*, on tourne de l'autre main le manche *v*, dont l'intérieur est taraudé sur une partie de sa profondeur, et qui reçoit les filets de vis du bout de la tige *o*.

Fig. 80, tournevis.

Fig. 81, *clef* pour tourner des écrous de la forme de ceux fig. 30, 31 et 33, en donnant toutefois aux deux parties de son extrémité la forme et l'écartement convenables.

§ 5. *Frettes.*

On traverse quelquefois des pièces de bois par des boulons fortement serrés par des écrous, pour les empêcher de se fendre suivant des plans qui seraient perpendiculaires à ces boulons; mais le plus ordinairement on emploie, dans le même but, des *frettes* qui sont des liens entiers ou de plusieurs pièces. Les fig. 45, 46, 47, 48 et 50, pl. CXVI, sont des *frettes* simples; ce sont des anneaux ronds, carrés, octogones ou à pans formés par une bande de fer suffisamment large, suffisamment épaisse, soudée par les deux bouts avec le plus grand soin; on n'emploie pour les *frettes* que du très-bon fer. Pour qu'une *frette* serre bien la pièce de bois qu'elle enveloppe, il faut avoir soin d'abord de ne l'appliquer qu'à des bois très-secs, de donner un tant soit peu de dépouille à l'emplacement qui doit recevoir la *frette*, afin qu'on puisse la forcer de serrer

en la chassant à coups de marteau, pour la pousser vers la partie la plus grosse du bois, où on la retient avec quelques clous placés en dehors. Sinon, après qu'on l'a forgée très-juste, et même un tant soit peu plus petite, il faut la chauffer autant que possible, et cependant pas assez pour qu'elle brûle le bois, et la porter ainsi dilatée par la chaleur à la place qu'elle doit occuper. Ce moyen est si efficace que les frettes s'impriment dans le bois par l'effet de leur rétrécissement en refroidissant. J'en ai même vu qu'on avait forgé trop petites, se rompre par l'effet de leur refroidissement. C'est un moyen qu'on emploie pour ferrer les roues des voitures, dont les cercles sont aussi de grandes frettes.

On fait usage de frettes oblongues pour retenir les arbalétriers dans les embrèvements de leurs assemblages sur les tirants; on en voit des exemples sur les charpentes romaines que nous avons représentées pl. LXXXIII et LXXXIV, sur celle de la figure 4, pl. LXXXVII, sur celle de la salle d'exercice de Moscou, fig. 3, pl. XCIV, et sur plusieurs autres. Ces longues frettes sont chassées à coups de masse à leur place; on fait en sorte qu'elles soient également inclinées à l'égard des pièces qu'elles lient, et on les retient sur les faces en pente avec de forts clous chassés au-dessous d'elles; on ne les perce d'aucun trou pour ne pas les affaiblir.

La figure 49 est une frette circulaire en deux pièces, pour des bois réunis à plat; les deux joints sont formés chacun par deux oreilles serrées par des boulons à vis et leurs écrous.

Lorsque la pression ne doit pas être considérable, et qu'on peut y employer du fer mince, la frette est faite d'une seule pièce avec une bande de fer peu épaisse, un seul joint suffit; il est composé, fig. 51, comme un de ceux de la frette fig. 49.

Quelquefois ce même joint, au lieu d'être serré par un boulon à écrou, est formé par des boucles et serré par une clavette. Cette sorte de joint est représentée par les projections fig. 52 et 53.

Lorsqu'on ente des pieux, on consolide leurs entes au moyen de frettes à deux joints à clavettes. La figure 65 représente, par une projection verticale et par une coupe horizontale placée au-dessus, deux pièces rondes jointes par une ente déjà représentée fig. 13, pl. XX. Leur enture est consolidée par des frettes entaillées dans les surfaces du bois, et de deux morceaux pour qu'on puisse les poser; une seule de ces frettes est posée en *a*, des coches *z* reçoivent l'épaisseur de chaque joint. L'emplacement de l'autre frette est entaillé en *b*, mais la frette n'est pas posée.

Ce moyen est celui indiqué dans les Œuvres de Perronet, planche XXXVIII.

La figure 64 est un autre moyen de fretter, en employant des frettes en anneaux d'une seule pièce, l'ente étant faite de la même manière.

Les bouts des pièces sont diminués de diamètre pour passer dans la frette *c*, qui trouve dans les parties non réduites de diamètre des embases qui l'arrêtent. Nous n'avons indiqué qu'une frette en *c*, mais on voit qu'on peut en placer deux autres, l'une en *d*, l'autre en *e*, en ménageant leurs places entaillées dans les parties non réduites de diamètre, où, à cause de la flexibilité du fer, elles peuvent être placées avant que l'ente soit mise en joint.

On serre aussi des pièces carrées d'un seul morceau, ou la réunion de plusieurs pièces, avec des frettes de deux et de quatre parties. La figure 66 représente une frette carrée de deux pièces, les joints à oreilles étant sur deux angles opposés. On pourrait placer un joint sur chaque angle, ou, au besoin, les placer sur deux faces opposées, ou même sur les quatre faces; dans ce dernier cas, on pourrait faire les joints à clavettes, comme celui de la frette fig. 52 et 53.

Les joints à oreilles, et notamment ceux placés sur les arêtes des pièces, ne serrent pas aussi bien qu'on pourrait le croire, à cause du déversement que les oreilles peuvent éprouver lorsqu'elles ne s'appliquent pas complètement l'une sur l'autre. La figure 68 représente une frette pour les pièces carrées, qui ne laisse rien à désirer sous le rapport de la pression; elle est composée de quatre brides terminées chacune par un bout cylindrique taraudé entrant dans l'œil d'une autre bride et serré par un écrou. La figure 67 représente une de ces brides vue à plat.

§ 6. Liens.

Les liens sont des espèces de frettes qui n'ont pour objet que d'opérer une pression dans un seul sens.

La figure 63, pl. CXVI, représente deux liens *a*, *b*, qui serrent des madriers appliqués les uns sur les autres. Une partie plate réunit les deux branches du lien *a* qui forment deux coudes représentés dans la coupe *a'* au-dessus de la principale projection. Dans le lien *b*, les deux branches sont les prolongements d'une bande qui s'arrondit sur un taseau *p* représenté en *p'* dans la coupe *b'*, cette disposition ayant pour objet de prévenir la rupture dans les coudes, qui est toujours à craindre dans les ferremets plats qui opèrent de fortes pressions.

Dans l'un et l'autre lien, la pression est opérée par des brides *m* dans les yeux desquelles passent les bouts taraudés qui sont saisis par des écrous garnis de leurs rondelles.

Une bride comme celle *m* est représentée à plat, fig. 82.

Des liens de cette forme sont employés concurremment avec les frettes

pour maintenir les assemblages à embrèvements des arbalétriers des fermes en charpente sur leurs tirants. On en voit des exemples dans la figure 6 de la planche LXXXIX.

On doit les arrêter sur les faces inférieures des tirants et sur les faces supérieures des arbalétriers avec de forts clous, avant de serrer les brides. Quelquefois on fixe leurs places par des entailles dans la face inférieure du tirant et dans la face supérieure de l'arbalétrier, et, dans tous les cas, leur direction doit être perpendiculaire à la face de l'arbalétrier, comme dans la ferme de la planche LXXXIX.

Les liens sont aussi employés pour serrer des pièces de bois qui se croisent, notamment celles qui se croisent à angles droits. La figure 56 représente des liens employés dans ce cas.

Les pièces *a*, *b*, *c*, *d* se croisent; la pièce *a* est serrée sur la pièce *c* par un seul lien *g*; la pièce *b* et la pièce *c* sont serrées réciproquement l'une sur l'autre au moyen de deux liens *m* et *n* employés en sens inverse, et qui produisent la pression réciproque dans le même sens.

La pièce *c* et la pièce *d* sont également serrées par deux liens *p* et *q* de la même manière que les pièces *b* et *c*.

Ces sortes de liens sont employés lorsque des boulons ne produiraient pas une application assez complète entre les surfaces, ou lorsque, vu la nature des bois employés, on craint que les boulons trop multipliés les fassent fendre.

Les liens employés de cette manière ne nécessitent point de brides; il suffit que les écrous posent sur de larges rondelles.

§ 7. Scellements.

Les fers à scellements sont employés pour fixer des pièces de bois contre des murs en maçonnerie. La figure 62 représente trois sortes de scellements. En *A* est un boulon scellé dans le mur, et destiné à traverser une pièce de bois pour l'attacher contre le mur. Deux orillons qui tiennent lieu de tête le fixent dans le scellement.

En *B*, une bande coudée *g* embrasse une pièce de bois *b* et la tient appliquée contre le mur par l'effet de ses deux scellements.

En *C*, deux boulons *p* scellés comme celui *A* retiennent entre eux une pièce de bois *f* appliquée contre le mur au moyen d'une bride *e* saisie sous les deux écrous de ces boulons. Le détail d'une bride vue à plat est figuré sous le n° 82.

II.

FERS EMPLOYÉS POUR CONSOLIDER LES ASSEMBLAGES.

§ 1. *Bandes de fer.*

Nous avons déjà indiqué l'usage des bandes de fer pour consolider les assemblages en parlant des pans de bois, chapitre X; ainsi nous n'avons pas à décrire longuement l'emploi de ces sortes de ferrures.

Un exemple de l'emploi des bandes de fer se trouve indiqué, fig. 12 de la planche XXXVII, pour la consolidation d'un assemblage à trait de Jupiter.

Lorsqu'on emploie des bandes de fer comme moyen de consolidation des assemblages, il est utile de courber leurs extrémités comme nous l'avons indiqué fig. 49, 61 et 70, pl. CXVI, afin qu'elles soient cramponnées dans le bois où les logements de ces crampons doivent être préparés en creusant pour chacun une petite mortaise pour les recevoir.

De fortes vis pour fixer les bandes de fer sur les bois sont préférables aux clous et aux broches.

Les boulons sont préférables aux clous et aux vis pour attacher les bandes de fer sur des pièces de bois, et même il faut au moins un boulon par chaque bout.

Lorsque des bandes sont destinées à consolider une ente de deux pièces de bois, et qu'on a jugé qu'il en faut deux, il est préférable d'en placer une de chaque côté plutôt que de les placer toutes deux du même côté.

Nous avons déjà décrit, page 121, une combinaison de bandes de fer employées pour consolider les assemblages à mi-bois de pièces qui se croisent, et qui sont jointes bout à bout dans leurs entailles réciproques. On eût pu employer aussi des bandes de fer formant des croix ou des X appliquées en dessus et en dessous des pièces assemblées; mais cette disposition, convenable dans beaucoup de circonstances, ne pouvait être appliquée dans la charpente représentée pl. LXXXIX, à cause de la nécessité de livrer passage à un tuyau vertical au milieu de l'assemblage.

§ 2. *Étriers.*

Lorsque l'usage du fer dans les charpentes n'était pas connu, on retenait les pièces de bois à celles qui devaient les soutenir, par des clefs en

bois comme on en voit dans la charpente de la basilique de Saint-Pierre de Rome, fig. 1, pl. LXXXIV, et comme nous avons représenté ce moyen d'assemblage fig. 13 et 14, pl. XVII, et page 272 du tome I^{er}.

Pendant longtemps même les boulons des moises ont été suppléés par de longues clefs en bois traversant les moises et serrées par de fortes clavettes en bois, fig. 2, pl. XXI, comme on en voit encore dans quelques anciennes charpentes.

Lorsque l'usage du fer a commencé à s'introduire dans les charpentes, on s'est servi, pour soutenir des pièces de bois, de bandes de fer enveloppant les pièces à soutenir, leurs branches se prolongeant sur les poinçons auxquels on les attachait par de forts clous. Ces étriers avaient la forme représentée, fig. LVII, par deux projections, si ce n'est que dans cette figure l'étrier est retenu par des boulons à vis et écrous au lieu de l'être, comme par le passé, au moyen de gros clous.

Des pièces de la même forme servent aussi à maintenir des arbalétriers dans leurs assemblages sur les tirants. On en voit un exemple fig. 2, pl. XC. On s'en est servi quelquefois aussi pour lier les arbalétriers sur les abouts des entrails, fig. 2, pl. XCVI. Il faut, dans ce cas, que la partie de l'étrier qui porte sur le plan incliné de l'arbalétrier soit également inclinée, et qu'elle soit retenue par un très-fort clou, ou par deux clous passant dans deux oreilles qui suivent le rampant de l'arbalétrier. Autrement, il faut que cette partie de la bande de fer soit entaillée dans l'arbalétrier, ou que l'étrier soit perpendiculaire à sa face supérieure.

On a fait anciennement des étriers comme celui représenté fig. 58. Deux brides égales *a b* sont appliquées extérieurement de chaque côté de l'assemblage d'une poutre *m* avec un poinçon *n*, elles sont accrochées par leurs mortaises, à une clef en fer traversant le poinçon dans une mortaise et terminée à chaque bout par un crochet pour retenir ces brides. Une autre clef *d* terminée à chaque bout par un T, et représentée à plat, fig. 84, traverse les deux mortaises inférieures des brides en passant sous la poutre *m*. Des coins *o* pressent la clef inférieure contre la poutre, et, par conséquent, serrent tout l'assemblage. La clef *d* passe de champ dans les mortaises des brides.

C'est par un moyen analogue que les cloches sont attachées à leurs moutons. (*Voyez* chapitre L.)

Lorsque des boulons employés comme dans la figure 56, pour soutenir la pièce *d* attachée à la pièce *e* ou à la pièce *f* ne paraissent pas suffisants, on emploie des bandes taraudées, fig. 59, pour fixer une poutre *r* à un poinçon *q*. Les bandes sont clouées et boulonnées sur le poinçon, leurs bouts arrondis comme des boulons traversent la poutre;

ils sont terminés par des taraudages qui reçoivent des écrous avec de larges rondelles pour serrer l'assemblage et soutenir la poutre.

La figure 60, pl. CXVI, est un détail d'un étrier qui attache un arbalétrier à la jambe de force dans la ferme de mon système d'arcs en madriers courbés sur leur plat, pl. CVIII. Cet étrier est formé de deux bandes droites m terminées par le haut en boulons qui traversent l'arbalétrier p et reçoivent les écrous z pour serrer le joint. Ces deux bandes droites sont réunies par une bande cintrée n au moyen de deux mouffes à clavettes x et y . Cette bande cintrée traverse une mortaise creusée dans la jambe de force r . Les joints sont pareils à celui de la figure 53. Une petite entaille forme l'assiette de chaque écrou.

Lorsque la pression ne doit pas être grande, et que l'on peut former la partie arrondie de l'étrier avec une bande mince et un peu flexible, ce genre d'étrier peut être fait d'une seule pièce, comme celui t u r , même figure, qui attache l'arbalétrier à une jambe de force s . En ouvrant un peu les branches de l'étrier, on peut en passer une dans la mortaise, qui n'a besoin d'être élargie que jusqu'à la ligne k l , qui n'est distante de la partie arrondie que d'environ la moitié de la longueur de son rayon.

Dans la fig. 61, les jambes de force f et f' sont attachées à l'arbalétrier p par le même moyen qui est représenté fig. 56 et 59, pour lier une poutre à un poinçon.

Nous avons ajouté aux extrémités des bandes étrières des retours pliés sur toute la largeur de chacune, et formant crochets ou crampons dans le bois, où ils sont logés dans de petites mortaises entaillées d'avance et avec justesse. Ces sortes de crampons concourent à la résistance produite par les boulons.

Lorsque des boulons ou des pièces taraudées qui doivent, en outre de la pression qu'ils opèrent, présenter une résistance quelconque dans une direction perpendiculaire à leurs axes, il faut avoir soin que le taraudage ne s'étende pas sur les points où cette pression doit être exercée, et qu'il ne commence qu'au delà et sous les rondelles, afin que le contact des parties qui agissent dans ce sens porte sur les parties cylindriques des boulons ou des pièces, et non sur les filets des vis, qui seraient infailliblement écrasés et même le fer pourrait rompre.

On nomme aussi étriers des bandes de fer coudées et tordues qui servent à soutenir les assemblages des solives dans les poutres et des linoirs et chevêtres dans les solives. Nous avons donné à ce sujet, et sur les bandes de trémies, qui sont aussi des étriers, des détails suffisants, dans les figures 8, 9, 10 de la planche XXXVI.

§ 3. *Équerres.*

Les équerres sont employées pour maintenir des assemblages et surtout pour s'opposer à ce que les angles que font les pièces puissent varier. Elles sont de deux espèces, les équerres plates et les équerres de champ.

Fig. 71, pl. CXVI, équerres plates pour fortifier un assemblage d'angle. Pour qu'une équerre de cette sorte remplisse l'effet qu'on en attend, il faut qu'elle soit incrustée dans le bois au moins de la majeure partie de son épaisseur et mieux de son épaisseur entière, de façon qu'elle affleure la surface du bois; elle doit y être retenue par trois boulons au moins, et par des clous; les bouts doivent être pliés pour former crampons dans le bois.

La figure 83 représente une équerre en T pour un assemblage formé sur un point quelconque de la longueur d'une pièce.

Dans les petits ouvrages, chaque assemblage n'est garni que d'une équerre posée avec des vis du côté le moins apparent. Dans les gros ouvrages, il est mieux, pour prévenir la torsion des bois, de mettre une équerre sur chaque face de l'assemblage, en les faisant correspondre, pour qu'elles soient toutes deux traversées par les mêmes boulons.

La figure 70 représente l'assemblage de deux pièces de bois *a*, *b*, sur le même point de la longueur d'une troisième pièce *c*, figurée par une coupe.

Ce double assemblage est maintenu par deux équerres de champ, l'une en dehors, l'autre en dedans de l'assemblage. Ces équerres se correspondent et sont traversées par des boulons communs. Leurs branches sont appliquées avec des clous; elles sont terminées par des crampons; on a soin que les clous ne se correspondent point.

La figure 69 est une projection de l'une des branches de l'équerre extérieure. On peut sans inconvénient se dispenser d'incruster les équerres de champ; souvent on peut, et quelquefois même on y est forcé, supprimer l'équerre intérieure.

Les branches d'une équerre, plate ou de champ, ne sont pas toujours à angle droit l'une à l'égard de l'autre : l'angle que font ces branches dépend de celui que font les pièces de bois. Quelquefois une des branches est dans un plan incliné, et l'autre dans un plan vertical; une branche ou toutes deux peuvent être courbe ou cintrées; la pièce de fer n'en conserve pas moins le nom d'équerre, et elle est appliquée au bois de la même manière.

Les boulons et bandes taraudés des figures 56, 59, 61, sont en général préférables aux équerres, parce qu'ils serrent les assemblages, et que,

quant au maintien de l'angle dans les assemblages, on doit peu compter sur l'efficacité des équerres, qui ne résistent presque jamais, dans les ouvrages en charpente, aux efforts qui peuvent changer cet angle. Il est préférable, s'il s'agit d'empêcher un angle de se fermer, d'opposer des goussets, des aisseliers et des contre-fiches à l'effort qui pourrait amener ce changement; et s'il s'agit de l'empêcher de s'ouvrir, il est encore préférable de faire usage de tirants en fer employés diagonalement.

III.

TIRANTS.

§ 1. *Joints pour bandes et barreaux.*

Les tirants sont employés pour unir et combiner des parties de charpentes éloignées les unes des autres; lorsque les distances sont grandes, ces tirants ne peuvent être faits d'une seule pièce, il faut, par conséquent, réunir plusieurs pièces bout à bout par des joints solides, et dont la plupart doivent fournir le moyen de donner une tension convenable à la totalité du tirant.

Les fig. 72 et 73, pl. CXVI, sont des projections de différents moyens de jonction, pour les parties des tirants.

Fig. 72, parties de tirants formées de bandes plates; *a*, joint à clavette en projection verticale; *a'*, projection horizontale du même joint pour le cas où ce joint étant isolé, son épaisseur peut dépasser également des deux côtés celle des bandes dont le tirant est formé; *a''*, projection horizontale pour le cas où le joint doit être porté d'un côté, parce que le tirant doit être appliqué contre quelque objet. Ce joint est aussi appelé *moufle*.

b, deux projections d'un joint à oreilles, serré par un boulon à tête romaine ou autre, traversant une oreille et se vissant dans l'autre.

c, deux projections d'un joint à oreilles doubles, serré par deux boulons à écrou. Ce joint est préférable aux précédents, parce qu'en serrant les boulons également, l'effort est le même des deux côtés du tirant.

d, joint plat, serré par des boulons avec écrous et rondelles.

Fig. 73, tirant formé de barreaux carrés.

e, joint à vis se réunissant dans un écrou commun. Si cet écrou doit produire la tension du tirant, il faut que les parties du tirant soient ta-

raudées en sens inverse, et que l'écrou commun soit aussi taraudé en sens inverse, afin qu'en le tournant, il attire à lui les deux parties du tirant.

f, joint avec boulon à deux tiges sur une seule tête romaine, et deux taraudages en sens inverse, en vissant dans les écrous, également en sens inverse, qui terminent les extrémités des parties du tirant.

g, joint à plat. Des tenons *x* qui font partie de la patte du tirant *p*, sont reçus dans les mortaises de la patte du tirant *q*; cet assemblage est retenu en joint par des coulants *v*, *y*, *z*, qui peuvent glisser, au besoin, tout le long de l'assemblage, les tenons *x* ne dépassant point la surface de la patte du barreau *q*.

On fait usage aussi de fer rond pour les tirants; nous aurons occasion d'en parler au sujet des charpentes figurées sur les planches CVI, CXVII, CXVIII.

§ 2. Chaînes.

Les chaînes sont employées dans les charpentes comme tirants; dans ce cas, elles ne doivent être composées que de chaînons fort longs formés de triangles, terminées par des anneaux; nous en avons indiqué un exemple, page 182 et pl. CVI, fig. 8.

Les chaînes composées de chaînons annulaires ronds ou ovales, ne doivent pas être employées comme des tirants, vu qu'il est reconnu que leur force n'est qu'une fois et demie celle du fer employé à former leurs chaînons, et que, par conséquent, elles sont chargées d'un poids plus considérable qu'il n'est nécessaire pour la force dont on a besoin. Sous un autre rapport, elles ne doivent trouver place dans les charpentes que dans des cas très-rares, vu que le fer de leurs chaînons ne devant pas être très-gros, les formes arrondies de leurs anneaux ont une élasticité qu'il ne convient pas de rencontrer dans des tirants.

IV.

FER INTERPOSÉ DANS LES ASSEMBLAGES.

On a depuis longtemps observé que le défaut de dureté du bois est cause que les contacts des assemblages n'opposent pas toujours une résistance suffisante aux pressions qu'ils éprouvent; ou les fibres longitudinales sont comprimées les unes contre les autres par les abouts, ou dans ces abouts les fibres sont refoulées, et de cet inconvénient résulte

un jeu dans les assemblages et de grands tassements dans les charpentes.

Mathurin Jousse proposa d'introduire des lames de plomb, de 2 à 4 millim. aux jonctions des abouts des pièces dans les poutres armées, afin que ce métal ductile remplit tous les vides que pouvaient laisser les inégalités des fibres dans ces abouts. Perrault conseille le même moyen dans son Mémoire pour le projet de pont d'une seule arche, qu'il proposait de construire à Sèvres, sur la Seine.

Ce moyen remplissait le but qu'on se proposait pour les assemblages à bois debout, et lorsque, par l'effet de la coupe, le tassement était à peu près prévu; mais on reconnut qu'il était insuffisant pour d'autres assemblages. La mollesse du plomb lui permet de céder à de grandes pressions, en s'introduisant dans les inégalités que laissent les fibres coupées à bois en travers, vu la difficulté d'exécuter des surfaces parfaitement unies et sans aucun creux. Au point de Schaffhouse, Grubenman s'était servi de fer-blanc; des feuilles de zinc ou de cuivre pourraient aussi être employées dans le même cas, mais vu le peu d'épaisseur des lames de ces métaux, elles n'atteignent pas complètement le but qu'on se propose.

M. de Bétancourt, que nous avons cité chap. XXIV, 4^e, en décrivant la charpente de la salle d'exercice de Moscou, avait reconnu que *les bois agissant dans la direction de leur longueur, ne doivent jamais, directement ou indirectement, exercer leurs efforts de pression contre des pièces qui reçoivent leurs abouts*, et huit ans avant la construction de cette charpente, c'est-à-dire vers 1810, il s'avisa, pour la première fois, dans la construction du pont de Kamenni-Ostrow, composé de sept grandes arches en bois (celle du milieu ayant 84 pieds d'ouverture, 27^m,30) de faire porter leurs naissances sur des boîtes en fonte de fer, et en décimtrant, les arcs ne baissèrent point. Depuis, il a introduit cette méthode dans les assemblages des fermes pour les combles, et la première application qu'il en a faite, a été dans la construction des fermes de la salle d'exercice de Moscou. Nous avons reproduit, fig. 5, de la planche XCXIV, les *têtes en fonte de fer qui couronnent les moises-poinçons ou faux poinçons, en sorte que les bois ne sont jamais en contact direct*. Une cloison *a* de chaque tête et son rebord sont saisis entre les moises, les arbalétriers et contre-fiches logent leurs abouts dans les cavités *b* que la tête leur présente de chaque côté, et pour compléter la liaison de cette tête avec les moises, de chaque côté des moises un étrier fourchu *c* les unit au moyen d'un boulon qui traverse la tête, et de trois autres boulons qui traversent la cloison *a*, et qui serrent les moises.

Rondelet, en faisant remarquer qu'un procédé semblable a été employé avec succès au pont de Waterloo, fait observer avec raison, qu'au lieu

de ces têtes de fonte *qui sont d'un poids énorme, et dont la solidité peut être suspectée, il eût mieux valu réduire cet appareil à une simple boîte qui aurait été comprise entre les moises, et celles-ci auraient pu s'étendre sur les arbalétriers; la figure 13 représente un profil de la boîte proposée par Rondelet.*

Dans les fermes représentées fig. 12 et 15 de la planche CVI, on trouve d'autres exemples de l'emploi du fer coulé, comme intermédiaire dans les assemblages. La ferme, fig. 12, appartient au comble d'un atelier à Liverpool; celui fig. 15 fait partie du comble de la remise des voitures de la station d'un chemin de fer, à Londres. Les fig. 11, 16, 13 et 14 sont, sur une échelle quadruple de celle des fig. 12 et 15, des détails des pièces de fonte de fer employées pour ces charpentes dans lesquelles les poinçons se trouvent supprimés.

Ce système de construction peut être étendu à de plus grandes portées, en augmentant le nombre des boulons ou aiguilles pendantes en fer, en même temps que le nombre des contre-fiches, comme nous en avons indiqué sur la fig. 12.

Les boulons en fer forgé qui entrent dans la composition de ces fermes, servent autant à suspendre les tirants qui peuvent avoir à supporter des planches, qu'à empêcher l'exhaussement d'un des bouts de l'entrait par l'effet du fléchissement de l'autre bout, sous des charges inégales et non symétriques du tirant : vu que la figure hexagonale formée par le tirant, l'entrait, les deux arbalétriers et les contre-fiches, ne serait pas invariable sans ces boulons.

On a aussi employé la fonte de fer dans les charpentes des hangars des docks de Liverpool, dont nous avons représenté une ferme et ses colonnettes, fig. 18, avec des détails, fig. 17, 19 et 20. Les eaux des égouts du toit sont ramenées pour les évacuer dans les colonnettes, qui sont creuses.

V.

SOUTIENS VERTICAUX.

On ne peut pas dire que les soutiens verticaux dont nous allons parler, fassent partie des constructions en charpente, car ils remplacent le plus ordinairement les colonnes, les piliers en pierre et les murs employés dans les bâtisses; mais ils remplacent également les épais poteaux en bois qu'on a souvent employés pour soutenir des poitrails et des poutres de trop longues portées.

Les soutiens verticaux dont nous voulons parler, sont des colonnettes pleines ou creuses, en fer coulé, qu'on place de même sous les poutres et les poitrails pour les soulager également dans leur longue étendue, occuper moins d'espace que des colonnes et piliers en pierre ou en bois, et ne point obstruer l'accès du jour. Ces colonnettes creuses sont préférables à celles coulées pleines, parce qu'elles sont moins sujettes que celles-ci à renfermer quelques vices intérieurs, et qu'à surface égale de métal dans leur coupe horizontale elles sont moins sujettes à se courber ou à vibrer. Les charpentes figurées sur les pl. LXXXIX, CXVII, CXVIII, sont supportées par des colonnettes : ces exemples nous paraissent suffire pour indiquer les usages qu'on peut en faire. Nous nous contentons d'ajouter, que lorsqu'on emploie ces colonnettes sous des poutres ou sous des poitrails portant des murs, pour prévenir tout déversement, on regarde comme prudent de les accoupler dans le sens perpendiculaire à la longueur des pièces de bois, en plaçant une colonnette de chaque côté, le plus près possible des faces verticales des poutres. On fait porter les colonnettes sur des dés en pierre dure, quelquefois garnies de larges et épaisses plaques en fonte pour recevoir les tenons qui saillent au-dessous des bases. Par le haut, les colonnettes portent aussi au-dessus de leurs chapiteaux des tenons qui sont reçus dans des trous réservés sur les épaisses bandes de fer, qui s'étendent sous toute la largeur de la poutre à soutenir (1).

(1) Voir le paragraphe des colonnes en fonte dans les *Éléments de charpenterie métallique*, qui forment un supplément à la *Charpenterie* du colonel Émy.

CHAPITRE XXXIV

EMPLOI DU FER DANS LA COMPOSITION DES CHARPENTES EN BOIS.

L'emploi du fer, que nous considérons dans ce chapitre, n'est pas, comme dans le précédent, un auxiliaire de la solidité des assemblages, il s'agit ici du parti qu'on peut tirer du fer en le faisant entrer dans la combinaison des charpentes, pour remplacer, avec avantage et économie, des pièces de bois principales. On conçoit que les pièces de fer ainsi combinées avec des pièces de bois, doivent avoir, comme celles-ci, à résister à des efforts de pression et à des efforts de traction, dans le sens de leur longueur, suivant les positions dans lesquelles elles se trouvent placées.

Les pièces de fer employées pour résister à des efforts de pression, ne peuvent être que rarement employées dans les parties élevées des charpentes, à moins qu'elles ne soient fort courtes ou qu'elles ne présentent une résistance suffisante sur de petites grosseurs; autrement, si ces pièces devaient avoir de fortes dimensions, elles introduiraient dans les charpentes, des poids considérables qui nuiraient à l'économie du système. La fonte de fer n'est ordinairement employée, comme pièces constituantes des charpentes, que pour former des appuis verticaux; le fer forgé peut être employé aussi pour former des soutiens verticaux, mais il y a avantage pour la force, et économie sous le rapport du prix, à lui préférer la fonte. C'est ainsi que nous avons déjà cité des exemples, dans lesquels des colonnettes en fonte de fer remplacent des soutiens qu'on aurait faits anciennement en bois, en fer forgé ou en pierre.

Quant à la résistance à la traction, le fer forgé peut seul satisfaire aux besoins de l'art, et il joue un rôle important aujourd'hui dans la composition des charpentes en bois; on le substitue avec succès depuis quelques années aux pièces de bois qui n'ont à résister qu'à ce seul effort.

§ 1. *Charpentes des forges de Rosière.*

L'application la plus simple qu'on ait tentée d'abord, est le remplacement des tirants en bois par des tirants en fer.

Nous avons déjà fait remarquer que Kraft est un des premiers qui aient indiqué cette application du fer à la composition des charpentes dans les changements qu'il conseillait en 1821, pour les fermes à grandes portées du genre de celle de la salle d'exercice de Moscou. Plus tard, la vogue de constructions tout en fer a, pour ainsi dire, donné l'essor aux combinaisons de ce métal avec le bois, pour composer des combles d'une construction plus légère que celle des combles tout en bois, et moins coûteuse que celle des combles tout en fer.

Nous donnons, fig. 2, pl. CXV, le dessin d'une des doubles fermes du comble couvrant la halle des hauts fourneaux des forges de Rosière, près Saint-Florent, département du Cher, construit par A. Ferry, dont nous avons déjà cité une charpente, page 119 et pl. LXXXIX. La figure 3 est la projection d'une partie de la ferme sous-faite.

Dans chaque ferme de cette charpente, le tirant est remplacé par une tringle ronde en fer forgé, soutenue dans son milieu par une autre tringle verticale très-déliée, attachée au poinçon. Deux systèmes de fermes doubles suffisent à l'étendue du toit; elles sont écartées de 4 mètres, et chaque système est soutenu dans le milieu de l'étendue de sa portée, au-dessous de la sablière commune, par une colonnette en fonte qui reçoit, comme dans la charpente de Romilly, pl. LXXXIX, les eaux des deux égouts des toits pour les conduire dans un aqueduc passant sous la halle, et dont on voit la coupe sous la colonnette, dans la figure 2.

Le remplacement d'un lourd entrant par une tringle, et la forme élevée de ces doubles fermes qui laissent l'air et le jour circuler librement, donnent à peu de frais une apparence d'étendue et d'élégance que cette halle n'aurait pas avec une charpente ordinaire.

L'inclinaison des pans du toit est celle en usage dans le pays; on a voulu que les contre-fiches et les sous-arbalétriers formassent une portion de polygone régulier. Voici la construction pour obtenir ce résultat.

La ligne ab représente l'inclinaison du toit tracée sur une place quelconque de l'épure de la ferme; la verticale mn marque la position du parement intérieur dans les murs; par un point quelconque p de la ligne ab , on a tracé une perpendiculaire qui détermine le point c sur la verticale cb . On a fait pa égal à pb ; la ligne ca , prolongée en rencontrant l'axe vertical mn , détermine le rayon co de l'arc de cercle $oxyz$, dont la division en trois parties égales donne les extrémités des cordes ox , xy , yz qui sont prises pour les lignes du milieu des contre-fiches et des sous-arbalétriers. La démonstration de cette construction, et le détail des autres parties de la combinaison du bois de cette charpente sont si simples, qu'il ne nous paraît pas nécessaire de nous y arrêter.

La figure 6 est, en projection horizontale, sur une échelle quintuple de celle de la figure 2, le détail d'une des attaches d'une tringle-tirant aux moises-blochets qui saisissent un arbalétrier et une contre-fiche basse. La bride *r* est fixée par des boulons à la moise-blochets; elle est percée d'un trou rond qui répond au milieu du vide laissé entre les deux parties de chaque moise; ce trou reçoit la partie cylindrique *u* de l'écrou à tête *v*, représentée séparément fig. 6. C'est sur la partie hexagonale *t* de cet écrou qu'on applique d'une main l'effort d'une clef, tandis que de l'autre main on maintient, avec une autre clef, le prisme hexagonal *q* pour empêcher la tige de tourner pendant qu'on visse l'écrou, pour attacher la tringle ou pour lui donner la tension qu'elle doit avoir.

Les colonnettes reçoivent les contre-fiches basses qui leur correspondent dans une boîte coulée d'un seul jet avec elles, comme leurs chapiteaux, leurs bases et les tuyaux qui traversent les bornes servant de piédestaux. D'autres boîtes en fer coulé sont scellées dans les murs pour donner appui aux autres contre-fiches basses qui s'appuient à ces murs.

La figure 1 est la projection de la façade de la halle; la figure 4 en est le plan, l'une et l'autre sur une échelle qui est le huitième de celle des figures 2 et 3.

§ 2. Charpentes des docks de Liverpool.

Les charpentiers avaient employé avec succès de grandes croix de Saint-André en bois pour détruire la poussée des arbalétriers sur les murs. Nous avons vu des exemples de ce moyen dans les figures 4 et 5 de la planche LXXXVI, et notamment pour supprimer les tirants dans les figures 1 et 3 de la planche LXXXV, et dans la figure 1 de la planche LXXXVIII. L'action de ces croix de Saint-André est remplacée par celle de deux tirants inclinés en fer dans les fermes des docks de Liverpool, dont nous donnons le dessin fig. 18 de la planche CVI. Ces tirants, composés chacun de trois tringles en forme de chainons, sont attachés au piton qui termine une tige de fer verticale traversant un entrait, et ils sont fixés à la boîte de fonte, où sont reçues les extrémités supérieures des arbalétriers et celle des pièces de faitage.

Les extrémités inférieures de chaque arbalétrier reçoivent, chacune par embrèvement, un sabot de fonte qui lui est fixé par une bride en fer de forge, serrée par une clef embrevée et un coin. Une projection verticale de cet assemblage le représente en grand et de profil, fig. 17, sur

une échelle quadruple de celle de la figure 18; une deuxième projection, fig. 20, sur un plan perpendiculaire au premier, représente ce sabot du côté intérieur pour montrer comment il est fixé sur la sablière. Chaque sabot est traversé par le bout inférieur d'un des tirants de fer qui s'y trouve retenu par un écrou servant à le tendre convenablement.

La figure 19 est un détail de la pièce de fonte qui reçoit les arbalétriers et les faitages.

Les eaux pluviales reçues dans les chéneaux placés aux égouts du toit, sont portées par de petits tuyaux dans l'intérieur des colonnettes qui soutiennent la charpente.

Il est aisé de voir que si l'on donnait aux arbalétriers une force suffisante, ils pourraient soutenir les pannes sans le secours de l'entrait que l'on pourrait supprimer, la tige verticale x ne cesserait pas de maintenir la charpente.

§ 3. *Système de charpentes en bois et en fer*

Composé par l'auteur (1).

En recherchant quelles extensions on pourrait donner à l'emploi du fer dans les charpentes, j'ai été conduit au système que j'ai représenté fig. 10, pl. CXVIII, dans lequel de grandes tringles en fer m servent de tirants qui, comme dans la ferme des docks, fig. 18, pl. CVI, s'opposent à l'action de la poussée du comble; ces tringles saisissent les pieds des arbalétriers r et les attachent au poinçon en bois, qui pourrait être aussi une tringle en fer.

Pour que les tringles aient à résister chacune à un effort moindre, et qu'on puisse y employer du fer rond d'un petit diamètre, au lieu d'une seule tringle de chaque côté, j'en ai établi trois rangs parallèles m, m', m'' , dans la hauteur de la charpente, et dans chaque rang les tringles sont jumelles; elles saisissent les arbalétriers, les contre-fiches q, q', q'', q''' , et le poinçon t sur leurs faces de parement.

Ce que mon système présente de particulier, c'est que j'ai fait servir les tringles m, m', m'' , en même temps pour résister à la poussée du comble et pour s'opposer à la flexion des arbalétriers, en leur combinant d'autres tringles n, n', n'' , inclinées en sens inverse, par des nœuds qui donnent appui aux contre-fiches établies sous les pannes.

Le bâtiment devant avoir 16 mètres de largeur dans œuvre, et la hauteur du comble devant être le tiers de sa base, j'ai pris de chaque côté le point a , gorge de l'assemblage des arbalétriers avec les blochets,

(1) Emy.

à plomb au-dessus du parement intérieur du mur; la hauteur $c b$, au-dessus de la ligne $a a$, est le tiers de cette ligne, et la ligne $a b$ marque le dessous de l'arbalétrier, son épaisseur a déterminé la position de sa face supérieure par sa trace $a' b'$ pareille $a b$.

Le point f du poinçon est pris au-dessus du point e , aux deux cinquièmes de la ligne $c b$. Les lignes $a' f$ marquent les positions des premières tringles, la rencontre de ces lignes avec la ligne de milieu de l'épaisseur des arbalétriers a marqué sur chacun le point principal d'attache a' de la tringle à l'arbalétrier, comme le point f marque le point principal d'attache commun aux deux tringles sur l'axe vertical du poinçon.

La division de la ligne $a' b'$ du milieu de la face verticale de l'arbalétrier, en cinq parties égales, détermine les positions des lignes de milieu des pannes et de quatre contre-fiches sous chaque pan. Ces lignes de milieu ont à leur tour déterminé par leur rencontre avec les premières tringles m, m' , les emplacements des autres tringles n, n', n'' , inclinées en sens inverse des premières. On voit, sans qu'il soit besoin d'une longue discussion, comment les contre-fiches, soutenues par les tringles, s'opposent à la flexion des arbalétriers chargés du poids du toit par l'intermédiaire des pannes, et comment les mêmes tringles m, m', m'' , s'opposent ensemble à la poussée du comble.

Le bâtiment sur lequel la charpente est établie a 25 mètres de longueur dans œuvre; le comble est divisé en huit travées par sept fermes, écartées également entre elles de 3^m,14 de milieu en milieu, en sorte que leurs distances entre leurs faces de parement et les distances de faces de parement des deux fermes extrêmes aux parements intérieurs des pignons du bâtiment sont toutes égales et de 2^m,99, les fermes ayant toutes 0^m,15 d'épaisseur.

Les fermes sont portées sur des chaînes verticales en pierre de taille qui affleurent les parements intérieurs des murs latéraux, et qui forment pilastre saillant de 0^m,01 à l'extérieur.

La figure 11 est un plan général de la halle, figuré sur une échelle du dixième de celle de la figure 10; les lignes ponctuées sur ce plan marquent les emplacements des fermes.

1. Roue hydraulique de l'usine;
2. Fourneaux;
3. Emplacements des laminoirs.

La figure 12 est une projection de la ferme longitudinale ou de sous-faîte qui fait voir les tringles horizontales o qui maintiennent les poinçons verticaux et empêchent leur oscillation. Ces tringles, d'un très-faible diamètre, ne sont pas placés exactement à la même hauteur, afin qu'on

puisse serrer les écrous qui servent à leur donner la tension convenable.

Des croix de Saint-André, également en tringles de fer, fixées aux faitages et aux poinçons, soutiennent, par leurs nœuds, les petits poinçons intermédiaires z qui soulagent les faitages; ces croix de Saint-André assurent aussi la stabilité de la charpente dans le sens longitudinal.

Les figures 1 et 2 sont, sur une échelle double de celle de la figure 10, des projections sur des plans verticaux rectangulaires qui présentent le détail des deux étriers en fer g , réunis sur les deux faces du poinçon t par des brides communes h , et boulonnés sur ce poinçon et sur les arbalétriers pour consolider l'assemblage des arbalétriers sur les poinçons, très-important dans ce système.

La même figure montre le détail d'une des attaches k des tringles jumelles m, m', m'' , sur un poinçon.

La figure 3 est une projection de la face supérieure d'un arbalétrier.

La figure 4 est celle d'une de ses faces de parement. Ces deux figures, qui sont sur une échelle double de celle de la figure 10, montrent les détails de la ferrure par laquelle les tringles jumelles sont attachées aux arbalétriers.

Une pièce à deux branches a est appliquée sur chaque face de parement de l'arbalétrier, et sur chaque face elle couvre, de ses bouts en rosette, les rosettes qui terminent les deux tringles c . Ces deux pièces sont elles-mêmes recouvertes sur leur milieu par les rosettes des bouts d'une bride b , qui embrasse le dessus de l'arbalétrier; trois boulons traversent cette ferrure; le tout forme une attache très-solide.

La coupe de l'arbalétrier, fig. 5, fait voir le profil de la bride b .

Quoique le boulon qui traverse la bride b soit marqué sur cette figure, les pièces a qui doivent être prises sous les rosettes de la bride, ne sont point figurées pour ne pas introduire au dessin une complication inutile.

Les figures 6 et 7 sont deux projections du bout d'une des tringles d'une ferme, avec la rosette qui la termine.

Les figures 8 et 9 sont deux projections d'une des tringles formant croix de Saint-André, avec la rosette servant à son assemblage avec une autre tringle.

La figure 13 est sur la même échelle que la figure 10; elle montre deux projections des pièces servant à l'attache des tringles jumelles des deux côtés de chaque arbalétrier, concurremment avec une bride, comme celle de la figure 4 qui embrasse l'arbalétrier; trois boulons, comme dans toutes les autres ferrures, fixent cette attache.

Suivant l'usage que j'ai adopté et que je conseille en toute occasion pareille, une ferme d'épreuve avait été construite et levée; elle a été soumise, pendant plusieurs jours, à une charge de 4500 kilogrammes,

répartie entre neuf plateaux suspendus aux poinçons et aux points qui devaient supporter les pannes; cette charge excédait de beaucoup le poids que chaque ferme devait supporter. La ferme ne s'est étendue que de 12 millimètres, et dès que la charge a été enlevée, elle est revenue à sa première ouverture. Lorsque la couverture a été posée, on ne s'est point aperçu que les fermes se fussent ouvertes.

On n'a établi aucune vis de tension sur les tringles; on s'est contenté de les ajuster avec beaucoup de précision sur l'ételon, ce qui a complètement réussi.

Ce comble est couvert en ardoises; l'équarrissage des arbalétriers et des poinçons est de 0^m,15 sur 0^m23; celui des contre-fiches est de 0^m,15 sur 0^m15. Le calcul m'avait donné un peu moins de 18 millimètres pour le diamètre des tringles en fer, je l'ai porté à 19 millimètres. Le diamètre des petites tringles sous le faitage est de 0^m,01.

M. A. Ferry, que j'ai déjà nommé, pages 149 et 278, a bien voulu faire l'application de mon système de charpente en bois et en fer pour couvrir la nouvelle halle de laminage de l'usine des Ponts, qu'il a été chargé d'établir aux fonderies de Romilly-sur-Andelle (département de l'Eure), en 1837. C'est le dessin de la charpente exécutée que représente la figure 20 de ma planche CXVIII. M. Ferry en a dirigé la construction jusque dans ses moindres détails, et elle est traitée avec la perfection qui distingue tous ses travaux.

J'ai exposé aux galeries des produits de l'industrie, en 1839, sous le n° 790 un modèle exécuté sur une échelle d'un dixième, comprenant deux fermes de ce système de charpente pour lequel une médaille d'argent m'a été décernée par le jury central (1). Ce modèle, construit dans les ateliers du Dépôt des fortifications, est déposé maintenant à l'hôtel royal des Invalides, à Paris, dans les galeries des plans en relief des places

(1) Extrait du rapport du jury central des produits de l'industrie française, exposés en 1839, tome II, page 96; M. le baron Dupin, rapporteur.

§ 4. *Constructions civiles.*

« Dans les constructions civiles, ce qui doit le plus attirer notre attention, c'est la combinaison judicieuse de la fonte et du fer, dont l'emploi devient chaque année plus commun, avec le bois, et qui restera pendant longtemps une de nos plus riches ressources.

» M. Émy présente un système de charpente, mi-partie de fer et de bois, très-judicieusement combiné. Les fermes sont composées de parallélogrammes en fer-tirant avec des diagonales en bois pour résister à la pression. M. Émy, ancien colonel du génie, et professeur à l'École de Saint-Cyr, a dirigé de grandes constructions avec un rare succès; on lui doit un ouvrage important sur la charpenterie, et des recherches ingénieuses sur la puissance des eaux sous-marines contre les matériaux des digues.

» Le jury décerne la médaille d'argent à M. Émy. »

de guerre; c'est une copie fidèle de la charpente exécutée aux fonderies de Romilly, en 1838.

Ce système de charpente convient à toutes sortes de portées; le nombre des contre-fiches varie avec celui des pannes. Nous donnons à ce sujet, comme exemple de la manière dont on peut varier les combinaisons, un croquis, sur une petite échelle, d'un projet que j'avais remis, vers la fin de 1838, pour le service d'un chemin de fer. Ce hangar aurait été couvert par un comble double, que quelques charpentiers nomment *comble à deux volées*; il aurait été soutenu par des colonnettes en fer coulé, servant de tuyaux de descente pour les eaux du toit. Des dés en maçonnerie devaient servir de fondations et recevoir les prolongements des colonnettes pour assurer leur stabilité.

Les avantages de ce système sont :

1° De débarrasser les combles des tirants en bois et, par conséquent, d'augmenter la hauteur dont on peut disposer dans les ateliers;

2° De diminuer beaucoup le poids des combles sur les murs;

3° De produire une notable économie, vu la suppression des grands bois dans la composition de la charpente et la réduction de l'équarrissage de ceux qui sont conservés;

4° De donner une très-grande facilité de levage, attendu que les fermes doivent être montées horizontalement, au niveau des sablières, et qu'elles sont dressées très-aisément vu leur légèreté.

L'emploi des tringles jumelles donnent le moyen de faire très-facilement des remplacements qui peuvent devenir nécessaires.

On pourrait donner aux contre-fiches une position verticale, ce qui produirait un effet convenable, attendu que, vues d'en bas, elles se trouveraient, comme les poinçons, rangées par alignement dans des plans verticaux à l'imitation des pendentifs de Crosby-Hall, dont nous avons parlé au chap. XXVI. On pourrait même les faire rondes, en forme de balustres et terminées, par le bas, par quelques ornements : nous n'avons pas jugé cette recherche nécessaire pour un atelier.

Camille Polonceau a exposé, en 1839, un petit modèle d'une charpente en bois et en fil de fer qu'il a fait exécuter aussi en 1839, sur un hangar de 8^m,40 de largeur pour le chemin de fer de Paris à Versailles (rive gauche); la figure 21, pl. CXVI, en représente une des fermes. Vu la minime étendue de cette ferme, M. Polonceau a pu se contenter de fil de fer de 0^m,006 de diamètre pour les tringles et de former leurs assemblages par de simples torsions et des ligatures; une ferme d'épreuve a été chargée à 500 kilogrammes. M. Polonceau conseille, lorsqu'on ne craint pas un léger surcroît de dépense, de remplacer les contre-fiches ou jambettes en bois, par des jambettes en fer qu'on peut faire couler avec

quatre côtes en renforts; nous pensons qu'une contre-fiche en fer mince et étiré creux et soudé aurait une force égale, moins de poids et une apparence plus légère qu'une pièce de fonte à côtes. M. Polonceau a obtenu du jury central une mention honorable.

Depuis l'exposition, C. Polonceau a publié, dans le premier cahier de la *Revue générale d'Architecture* (1), un dessin du modèle qu'il avait exposé, mais il en a porté l'ouverture à 40 mètres; il a joint un projet d'une ferme conçue suivant la même combinaison pour une portée de 15 mètres (2). M. Polonceau pense que ce système jouit de la faculté de supporter de fortes charges qu'on peut suspendre aux pannes et aux jonctions des jambettes aux arbalétriers.

Tout en reconnaissant cette faculté à ce système, comme à tous autres systèmes de charpentes, je ne vois pas dans quelles circonstances il conviendrait d'en profiter, par la raison que ces fortes charges nécessiteraient des tringles plus grosses, comme dans tout autre système des équarrissages plus forts, ce qui détruirait l'économie. D'ailleurs la suspension de fortes charges nécessite l'établissement d'un plancher pour les supporter; dès lors, il y a nécessité d'établir des poutres qui peuvent servir de tirants, et l'emploi des tringles en fer n'est plus motivé, car l'usage en serait si dispendieux, qu'il serait plus convenable de s'en tenir aux charpentes ordinaires. Au surplus, notre système présente d'assez nombreux et grands avantages, sans vouloir en étendre l'usage aux cas pour lesquels il ne convient pas.

MM. Aubrun et Herr ont exposé, aux galeries de l'industrie, sous le n° 912, un très-grand modèle de système de charpente pour un comble. Chaque ferme est composée de sept aiguilles verticales, compris le poinçon; elles supportent les deux arbalétriers; elles sont entretenues à distances égales par des traverses horizontales, leurs longueurs sont réglées pour qu'elles soient soutenues par une sorte de polygone funiculaire pendant en dessous d'une ligne horizontale qui serait tracée au niveau des sablières.

Nous donnons, fig. 22, pl. CVI, le croquis d'une ferme de ce modèle, pour ne point omettre une idée qui pourrait trouver son application, malgré l'inconvénient grave de ce système, qui diminue la hauteur de l'espace couvert, et qui est sujet à de grandes oscillations, à cause de l'élasticité des cordages et de leurs variations hygrométriques.

(1) Cette revue, dirigée par M. César Daly, a été fondée en 1840. Elle publiera son vingt-septième volume en 1870.

(2) Il est aisé de reconnaître que c'est une imitation du système de la charpente construite à Rouilly, en 1838, et dont j'ai exposé le modèle en 1839.

§ 4. Poutres armées de fer.

Nous avons représenté, fig. 23, pl. CVI, une poutre armée de fer, par le moyen d'un poinçon pendant et de deux tirants de fer inclinés, qui font l'office des goussets des pendentifs dont nous avons parlé page 158. Cette disposition a beaucoup de ressemblance avec le pont de cordages représenté fig. 2, pl. CXL, et dont nous parlerons au chapitre XI.

Les Anglais ont renforcé les tirants en fer dans l'épaisseur de la poutre, de manière qu'ils ne forment point saillie apparente; nous avons représenté une poutre armée par ce moyen, fig. 24, même pl. CVI. Cette armature peut être établie double et en en plaçant une sur chaque face verticale d'une poutre, ou bien on peut refendre la poutre en deux parties égales par un trait de scie vertical, et loger l'armature en fer entre les deux parties qui s'y trouvent réunies par les mêmes boulons qui fixent les tirants de l'armature.

Nous avons représenté, fig. 25, une disposition dans laquelle les tirants n'occupent qu'une partie de la longueur de la poutre à laquelle ils sont boulonnés. On peut aussi forer obliquement avec une tarière à long manche de pompier les logements dans une poutre des deux parties des tirants inclinés, que l'on peut également bien boulonner avec de forts boulons.

Duhamel du Monceau rapporte, dans son *Traité du transport et de la conservation des bois*, page 523, que le sieur Barbé avait proposé, pour fortifier les mâts, de distribuer dans les joints des pièces dont on les compose des bandes de fer longitudinales et incrustées.

La figure 26 est une coupe d'un mât, faite perpendiculairement à son axe, dans laquelle les coupes des bandes de fer dont il s'agit sont indiquées.

Nous avons encore à parler de l'emploi du fer dans la construction des ponts et des cintres; nous renvoyons ce que nous avons à dire sur ce sujet à la fin du chapitre XXXVIII, dans lequel nous nous proposons de parler de ces constructions.

§ 5. Charpente suspendue.

L'élégante rotonde du Panorama, construite aux Champs-Élysées, à Paris, sur les dessins et sous la direction de M. Hittorff, architecte, est

couverte par une charpente suspendue (1). Cette rotonde a 40 mètres de diamètre dans œuvre. La charpente pyramidale est à douze pans; elle est composée de six fermes formant douze demi-fermes arêtières assemblées dans un poinçon central qui ne descend que jusqu'à l'enrayure unique, placée à peu près à la moitié de la hauteur du comble, qui est d'environ le quart de sa portée. Chaque ferme entière est composée, en outre du poinçon central qui en fait partie, de deux arbalétriers qui posent sur les sablières, d'un entrait qui entre dans la composition de l'enrayure, de deux aiguilles pendantes placées vers les milieux de chaque demi-portée, de deux aisseliers qui s'assemblent dans le poinçon et dans les arbalétriers, pour soutenir la charpente d'une petite lanterne qui couronne le comble, et enfin de deux grandes et de deux petites contre-fiches qui sont assemblées dans le bas des aiguilles pendantes et dans les arbalétriers. Ces fermes n'ont point de tirants. Les douze aiguilles sont combinées deux à deux par des croix de Saint-André qui les maintiennent verticales. Des câbles en fil de fer attachés au bas des aiguilles les maintiennent à des écartements égaux de l'axe de la rotonde. Les bouts inférieurs des aiguilles répondent au niveau des sablières. Le lattis conique de la toiture est composé de chevrons de champ et traverses; il est supporté par des pannes; le tout est compris dans l'épaisseur des arbalétriers.

Un large vitrail se développe au bas du toit, à peu de distance du mur circulaire de la rotonde; il n'est interrompu que par les épaisseurs des arbalétriers; il forme une zone qui donne issue au jour pour éclairer uniformément la surface cylindrique intérieure de la rotonde sur laquelle le tableau du panorama est peint. Au-dessous de ce vitrage, le comble se raccorde avec le mur circulaire par des coyaux.

Si les fermes eussent porté sur une enrayure, comme de coutume, au niveau des sablières, les douze tirants ou coyers auraient projeté sur le tableau des ombres nuisibles à l'illusion. Pour éviter cet inconvénient, M. Hittorff a suspendu la charpente au-dessus de la rotonde par douze câbles en fil de fer, attachés aux extrémités inférieures des aiguilles pendantes, et répondant aux câbles horizontaux. Ces câbles sont amarrés aux sommets de douze colonnettes en fer coulé, renflées dans leurs milieux, établies sur le mur circulaire de la rotonde, qui n'a que 0^m,50 d'épaisseur; ces colonnettes s'élèvent à peu près à la hauteur de l'enrayure. Douze autres câbles de retraite, également en fil de fer, s'apposent à leur renversement en allant se fixer à des tirants verticaux qui

(1) De fort beaux dessins de cette rotonde ont fait partie, en 1844, de l'exposition du Louvre, sous le n° 2136.

descendent des sommets de douze pyramidons, dans les massifs en maçonnerie des douze contre-forts rayonnant autour de la rotonde, et compris dans l'épaisseur d'une sorte de galerie à plusieurs étages qui entoure ce joli édifice.

Les câbles qui sont attachés aux aiguilles pendantes, étant inclinés en sens inverse des arbalétriers du comble, parallèlement aux contre-fiches basses et traversant la toiture au-dessus du vitrage, ils ne portent aucune ombre sur le tableau du panorama. Le garde-jour placé au-dessus du spectateur est suspendu par des câbles du petit diamètre aux aiguilles pendantes.

Quoique ce comble soit construit en charpente légère et que sa couverture soit en zinc, son poids est évalué à 100 000 kilogrammes, de sorte que chaque câble de suspension, dont le diamètre est de 5 centimètres, résiste à un effort de 9 à 10 000 kilogrammes.

§ 6. *Arcs en fer coulé.*

Dans la vue de donner aux arcs des charpentes en bois une très-grande roideur, M. le capitaine Ardant propose de faire ces arcs en fonte de fer. Il a donné le dessin d'une ferme conçue d'après cette nouvelle combinaison, dans l'ouvrage que nous avons cité dans la préface du tome II et dans la note de la page 217.

L'arc est en fer coulé; il repose immédiatement sur les retraites intérieures des murs; tout le reste de la charpente est en bois. De chaque côté du comble, qui est brisé, deux arbalétriers tangents à l'arc portent les pannes sur lesquelles les chevrons sont appuyés; la jonction des arbalétriers répond au brisis, qui se trouve sur le prolongement du rayon à 45°. Le comble est surmonté par une lanterne dont la largeur est égale au septième du diamètre de l'arc. Les arbalétriers supérieurs prolongés forment une croix de Saint-André dans la lanterne; cette croix se trouve comprise entre deux traverses horizontales, elle est saisie dans son milieu par la moise-poinçon.

Les sablières qui reçoivent les abouts des chevrons sont établies sur les murs exhaussés au-dessus des retraites des naissances, d'un huitième du diamètre de l'arc; elles sont liées à l'arc par des moises-blochets dans lesquelles sont assemblés les pieds des arbalétriers inférieurs. Il n'y a point de jambes de force.

En outre de la moise-poinçon et des moises-blochets, les arbalétriers sont liés à l'arc de chaque côté par cinq moises, compris celle verticale qui forme une des parois de la lanterne; une de ces moises répond au brisis.

CHAPITRE XXXV

ESCALIERS.

I.

DÉFINITIONS.

Les escaliers sont des constructions composées de plans horizontaux formant des degrés élevés à la suite les uns des autres, sur lesquels on pose les pieds pour marcher, en montant ou en descendant, et communiquer aux différents étages d'un bâtiment. De là vient le nom de *marches* donné à ces degrés, que les Latins désignaient par celui de *scalæ* dont on a fait en français le mot *escalier*.

Suivant la destination d'un escalier et la forme de l'espace dans lequel il est établi, que l'on appelle *cage*, il est composé de parties droites ou de parties courbes, et souvent des deux en même temps.

Les parties qui se projettent en lignes droites sur le plan, se nomment *volées* ou rampes (1); celles qui sont courbes se nomment *quartiers tournants*.

Une pièce de bois verticale qui sert de soutien commun à toutes les marches d'un escalier, ou seulement à quelques-unes, est un *noyau*.

Les pièces de bois inclinées qui soutiennent les marches d'une rampe sont des *limons*; les *limons* des quartiers tournants sont des courbes rampantes.

(1) On donne aussi le nom de *rampe* à l'espèce de grille ou balustrade en bois ou en fer qui s'élève au-dessus des volées et des quartiers tournants en suivant leurs contours, et sert de garde-corps sur lequel on peut appuyer une main pour s'aider à monter ou à descendre. On garnit quelquefois le dessus de cette rampe, lorsqu'elle est en fer d'une pièce de bois arrondie, dont la grosseur convient au développement de la main qui la saisit et peut glisser commodément: on nomme cette garniture en bois *main-courante*. Une autre pièce de bois à peu près de la même forme, souvent une perche qu'on soutient à la même hauteur par des crampons en fer le long des parois de la cage d'un escalier, sert également d'appui à une main, cette pièce se nomme *écuyer*. Un simple cordon passé dans des anneaux fixés aux parois de la cage, tient souvent lieu d'*écuyer*.

Les *limons* sont situés du côté du centre de la cage de l'escalier; du côté opposé, les marches sont soutenues dans les parois de la cage ou dans des *faux limons* qui font partie de ces parois.

L'espace vide qui répond au centre de la cage et qui est dans la projection horizontale, entourée par celle des limons, se nomme le *jour de l'escalier*. C'est en effet par cet espace que la lumière du jour se distribue aux différentes parties de l'escalier.

De quelque manière qu'un escalier soit développé par le moyen de ses limons, et quelle que soit l'inclinaison de ses rampes et quartiers tournants, le limon a une épaisseur verticale et une épaisseur horizontale constantes, tellement que le solide qu'il forme, rectiligne ou courbe, peut être regardé comme engendré par un rectangle vertical.

La figure 6, pl. CXXI, est la représentation de ce rectangle dont les dimensions peuvent varier pour différents escaliers, suivant la force qu'il est nécessaire de donner aux limons en raison des largeurs des escaliers et du poids qu'ils peuvent avoir à supporter par l'effet du nombre des personnes et des fardeaux qui peuvent y passer, et qui est le même pour tout le développement d'un même escalier.

Dans les épreuves que l'on trace pour la construction d'un escalier, on suppose toujours que le limon est engendré, comme nous venons de le dire, rigoureusement par un rectangle vertical et perpendiculaire à la direction du limon, mais lorsque les projections sont terminées; pour peu que l'escalier soit susceptible de décoration, son limon est orné de moulures dont les profils sont tracés dans ce même rectangle pour que leur génération soit assujettie à la même loi que celle des limons. Le plus souvent la moulure adoptée est un talon fig. 3, ou un quart de rond fig. 23, ou une bague fig. 24. Dans les escaliers susceptibles de plus de décoration, et notamment dans ceux dont la grande largeur exige de forts limons, les limons sont ornés avec des espèces de caissons creusés sur leur face verticale; ces caissons sont entourés de moulures comme nous les avons représentées dans la coupe, fig. 1, faites dans un limon par un plan vertical.

Le dessus d'une marche considérée par rapport à sa largeur, est généralement appelé *giron*, et cependant ce nom s'applique de préférence aux marches des quartiers tournants.

Les *contre-marches* sont des parements verticaux des devants des marches; c'est aussi le nom des pièces de bois qui forment ces parements, lorsque les marches ne sont pas massives.

Les *palières* sont des parties horizontales, beaucoup plus étendues que les marches, et même des portions de plancher distribuées à diverses distances dans la hauteur d'un escalier, aux mêmes niveaux que des

marches occuperaient, pour diviser son trop long développement et donner des points de repos, soit pour tenir lieu de quartiers tournants, soit pour donner des issues commodes aux portes des appartements des différents étages, soit, enfin, pour joindre les parties séparées du même étage d'un bâtiment (1).

On nomme *marche palivère* celle qui est au niveau d'un palier et en forme le bord.

La *foulée* d'un escalier est la route que l'on suit en montant ou en descendant, et ayant une main appuyée sur la rampe ou garde-corps; elle est, sur les marches de l'escalier, la projection de la ligne parcourue par le centre de gravité d'une personne qui parcourt l'escalier.

Dans les escaliers étroits elle occupe le milieu de leur largeur.

On n'a égard à cette ligne que dans les parties tournantes.

On donne le nom d'*emmarchement* à l'étendue des marches dans le sens de la longueur; c'est la largeur de l'escalier entre ses limons et les parois de sa cage.

On nomme aussi *emmarchement* l'assemblage d'une marche dans le limon, c'est-à-dire la quantité dont une marche pénètre dans un limon pour s'y assembler et trouver un appui.

L'*échiffre* est le commencement d'un escalier, c'est l'assemblage en charpente qui soutient le premier limon, servant comme de base à l'escalier; c'est aussi le nom du mur qui sert de fondation à cet assemblage.

§ 4. *Échelle de meunier.*

L'escalier le plus simple après l'échelle (2) et le moins commode, est formé d'une planche épaisse posée sous une inclinaison convenable pour

(1) Dulaure, dans l'*Histoire des Environs de Paris*, t. 1^{er}, p. 178, rapporte qu'aux XII^e et XIII^e siècles, le sol des maisons particulières, des églises, des écoles et même les planchers des palais de rois, étaient recouverts de paille; le luxe consistait à la changer souvent. Il est probable que chacune des parties des escaliers sur lesquelles il était possible d'en étendre était appelée *paliers*, du nom latin de *palea*, la paille; de même que dans le vieux langage, les greniers et même les meules de paille avaient le nom de *paliers*.

(2) Une échelle est un escalier portatif; elle est ordinairement composée de deux montants entre lesquels sont distribués, à des distances égales, des échelons horizontaux qui sont des bâtons ou des liteaux assemblés dans les montants. Ces échelons servent à poser les pieds pendant que celui qui monte ou qui descend fait usage d'une de ses mains au moins pour se tenir aux montants. Quelquefois l'échelle n'est composée que d'un seul montant traversé par les échelons; on ne fait usage de ces sortes d'échelles que lorsqu'elles sont invariablement fixées aux places où elles sont nécessaires. Quelquefois encore une échelle est formée par des entailles faites le long d'une pièce de

former une rampe praticable, sur laquelle on a cloué des liteaux prismatiques pour appuyer les pieds et les empêcher de glisser.

La figure 5, pl. CXIX, est un profil de cette sorte d'escalier; souvent employé dans les travaux pour les transports qui se font à charge d'homme.

L'escalier, dit *échelle de meunier*, le moins incommode après le précédent, et qui est en usage dans les usines, les moulins, les magasins, les échafaudages, et partout où la commodité de la communication n'est pas une condition essentielle, est composé de degrés horizontaux en planches, n'ayant souvent que la largeur tout juste nécessaire pour que les pieds puissent s'y poser avec stabilité. Ces degrés sont assemblés par leurs bouts à tenons et mortaises dans deux autres planches suffisamment épaisses posées de champ, sous l'inclinaison quelquefois fort roide que doit avoir l'escalier; ces planches tiennent lieu de limons; leur écartement dépend de la largeur qu'on peut donner à l'échelle de meunier, et qui ne doit jamais être moindre que l'espace nécessaire pour le passage d'une personne. Cette largeur est ordinairement au moins de 0^m,50 (1).

La figure 8, pl. CXIX, est la projection d'un escalier de cette espèce, sur un plan vertical parallèle à ses limons, et vue sur la face extérieure d'un des limons.

Nous avons indiqué dans cette figure, plusieurs manières d'assembler les marches : quelquefois les mortaises sont rectangulaires comme en *a*; d'autres fois on leur fait suivre comme en *b* la pente du limon, et les marches sont coupées sur leurs deux bords suivant cette même pente. Dans quelques escaliers de cette sorte les mieux faits, les moulures *g* du bord des marches recouvrent le dessus des limons, et l'assemblage a lieu par deux tenons. Pour que les marches ne se fendent pas, on fait porter leurs bouts en embrèvement dans des rainures égales à leurs épaisseurs creusées dans les joues intérieures des limons, sur une profondeur égale au tiers de l'épaisseur de ces limons.

Fréquemment on coince ces tenons, ou bien on prolonge, au dehors des limons, ceux de quelques marches en *tenons passants*, que l'on traverse par des clefs pour retenir l'écartement des limons, ou bien, enfin, on lie les

bois verticale. On fait des échelles doubles : elle sont composées de deux échelles simples, réunies à charnière par leur sommet; les montants sont plus écartés, et les échelons plus longs par le bas que par le haut. Elles ont la propriété de se tenir seules en écartant les pieds des deux échelles qui les composent, tandis que les échelles simples doivent être appuyées contre un objet fixe pour qu'on puisse en faire usage.

(1) On nomme *marcchepied*, un petit escalier portatif composé de quelques marches assemblées dans deux limons comme les échelles de meunier. On appuie un marche-pied contre un objet fixe, s'il ne porte pas deux pieds fixes ou mobiles à charnières. Il y a des échelles et des marche-pieds portés sur roulettes pour les conduire où l'on veut s'en servir.

deux limons par quelques boulons en fer d'un petit diamètre placés sous les marches.

La figure 7 est une coupe qui montre une autre manière d'établir rapidement les degrés d'un escalier. Les limons *a* sont découpés par des entailles donnant appui aux marches *b*, qui y sont maintenues par des clous ou des vis; on ajoute quelquefois des contre-marches *g*, également clouées sur les faces verticales des entailles. Ces sortes d'escaliers, d'ailleurs peu commodes, ne peuvent convenir pour des bâtiments habités, dans lesquels les communications entre les étages sont très-fréquentes. On a donc dû composer des escaliers plus solides, d'un usage plus facile, et qui occupassent le moins d'espace possible dans la bâtisse; il est évident que pour satisfaire d'abord à cette dernière condition, il fallait que les parties d'escalier servant aux communications entre les étages, se suivissent les unes au-dessus des autres, laissant entre elles des espaces au moins égaux à la hauteur d'un homme, et que toutes les révolutions fussent comprises entre les parois d'une seule cage.

Quoique le choix de l'emplacement d'un escalier dépende de considérations qui appartiennent à l'art de l'architecture, il n'est pas hors de propos de faire remarquer ici que ce choix est assujéti à deux conditions principales :

La première, c'est que l'escalier doit établir, de la manière la plus commode, la communication du rez-de-chaussée et de tous les étages des parties d'habitation pour lesquels il doit être construit.

La seconde, c'est qu'il ne doit pas occuper un emplacement qui serait plus convenablement employé dans la distribution des appartements; en dernier lieu, cet emplacement doit être tel que l'espace qu'il donne entre les parois de la cage, soit assez spacieux pour que les rampes, les parties tournantes et les paliers puissent y être développés avec des largeurs qui conviennent à la commodité, à la destination de l'escalier et à ses convenances, par rapport à l'espèce de bâtiment dans lequel il doit être fait.

Avant de décrire les différents modes de construction qui ont été mis en usage par les charpentiers pour satisfaire, autant que les progrès de l'art le permettraient, aux différentes conditions que nous venons d'énoncer, et parvenir à la description de ce qu'ils pratiquent aujourd'hui, il est indispensable d'indiquer les règles suivies pour fixer les dimensions des marches, d'où dépend la majeure partie de celles d'un escalier.

§ 2. Proportions des marches.

Pour que l'usage d'un escalier soit facile aussi bien en montant qu'en descendant, il faut que le rapport entre la hauteur verticale commune à toutes les marches, et la distance horizontale du milieu d'une marche à celui de la suivante, soit tel que l'effort qu'on fait pour monter ne diffère que très-peu de celui qu'on fait en marchant, avec une vitesse ordinaire, sur un sol horizontal; on conçoit que ce rapport ne peut pas être exactement le même pour tout le monde, et qu'il dépend de la taille de chacun.

L'expérience a fait voir que les dimensions des marches qui conviennent au plus grand nombre de personnes des deux sexes est 0^m,325 pour la largeur horizontale, et 0^m,1615 pour la hauteur, ce qui fixe le rapport moyen de la hauteur à la largeur comme 1 : 2; c'est celui que Scammozzi a déterminé (1). On est quelquefois forcé, par le défaut d'espace, soit à cause de la hauteur à parcourir, soit pour le développement à donner à

(1) Vitruve prétend qu'un triangle rectangle dont les côtés sont dans les rapports des nombres 3, 4, 5, servait chez les anciens à régler la hauteur et la largeur des marches, 3 étant la hauteur, 4 la largeur, et 5 marquant la longueur correspondante de la rampe. Mais cette inclinaison est trop roide pour les escaliers des maisons d'habitation des modernes. Les maisons des anciens n'avaient qu'un rez-de-chaussée pour l'habitation, et les escaliers n'étaient employés que pour monter sur les terrasses, ou dans les cirques et les amphithéâtres : dans nos maisons à plusieurs étages, de tels escaliers seraient d'un usage beaucoup trop fatigant. Scammozzi, qui avait prescrit le rapport de 1 : 2 que nous avons indiqué, avait aussi donné une autre règle, d'après laquelle la hauteur d'une marche est représentée par la moitié de la longueur du côté d'un triangle équilatéral, et la largeur par la longueur de la perpendiculaire abaissée de l'angle opposé; de sorte que la hauteur et la largeur comme 1 : $\sqrt{3}$, ou 1 : 1,732; ce qui rend l'escalier un peu plus roide, sans cependant qu'il soit trop incommode.

Blondel, dans son *Cours d'Architecture*, veut que la somme du double de la hauteur d'une marche et de sa largeur soit égale à 2 pieds, longueur qu'il dit être celle du pas de l'homme; il en résulte qu'effectivement, pour des marches de 6 pouces de hauteur, leur largeur sera de 12 pouces. Ce résultat est d'accord avec la règle que nous avons établie d'après Scammozzi; savoir que la hauteur doit être à la largeur comme 1 : 2. Mais si les marches n'avaient que 4 pouces, leur largeur, suivant la règle de Blondel, devrait être de 16 pouces. Les escaliers construits sur cette proportion sont d'une douceur incommode, et même leurs parties tournantes deviennent impraticables. Blondel avait fondé sa règle sur l'opinion qu'il avait que la longueur du pas est de 2 pieds, et sur ce qu'il voulait aussi qu'elle s'accordât avec celle de Scammozzi. Le pas de 2 pieds n'est usité que pour des mesures approximatives de topographie, et dans les manœuvres de troupes, il n'appartient qu'à l'allure habituelle des hommes de stature plus élevée que la taille ordinaire, et nous pensons que la règle que nous avons indiquée est la seule qu'on doit suivre.

l'escalier, de faire varier les dimensions des marches, et, par conséquent, le rapport de leur hauteur à leur largeur. Les praticiens ont adopté, assez généralement, la règle suivante :

Quelle que soit l'inclinaison que suit un escalier, la somme de la hauteur et de la largeur d'une marche doit être de 0^m,487. Ils se fondent dans cette règle, sur ce que la longueur du pas d'une personne de moyenne taille, ou plutôt de la taille la plus commune, qui se meut suivant la marche la plus habituelle et qui la fatigue le moins, n'est que de 0^m,487, et que la hauteur dont un pied peut se lever verticalement au-dessus de l'autre, dans une ascension, sur une échelle verticale, n'excède pas également 0^m,487; de sorte qu'ils admettent qu'en parcourant un escalier, il ne faut pas que l'on fasse, dans le sens horizontal, pour aller en avant, et dans le sens vertical pour s'élever, des efforts dont la somme soit plus grande que celui pour marcher horizontalement ou pour s'élever verticalement.

Ainsi, lorsque la hauteur des marches d'un escalier est de 0^m,135, leur largeur doit être de 0^m,352; lorsque la hauteur est de 0^m,189, leur largeur doit être de 0^m,298. On peut représenter cette loi graphiquement; soit *b a d*, fig. 1, pl. CXIX, un triangle rectangle dont les côtés égaux *b a*, *d a* ont 0^m,487; *a m* étant la hauteur d'une marche, *m n* sera sa largeur, et *a n* marquera l'inclinaison de la rampe de l'escalier; *a m'* étant une autre hauteur de marche, *m' n'* sera la largeur de cette marche, et *a n'* l'inclinaison de la rampe. Il s'ensuit que lorsque la hauteur est nulle, la largeur *a d* est la largeur du pas dans le sens horizontal, et lorsque la hauteur est de 0^m,487, la largeur est nulle comme pour une échelle. L'hypoténuse *b d* est donc le lieu sur lequel se trouvent les points qui indiquent les différents rapports des hauteurs et des largeurs des marches et des inclinaisons des rampes auxquelles elles appartiennent. Malgré cette règle et toutes celles qui ont été données par les architectes des différentes époques, on est forcé, pour que les escaliers soient commodes, de s'écarter peu des rapports qui fixent la hauteur à 0^m,152 et la largeur à 0^m,325, parce qu'on a reconnu que des escaliers dont la pente est trop douce, comme ceux dont la pente est trop roide, sont d'un usage également gênant. Dans les escaliers trop roides, en outre de l'effort qu'on est obligé de faire pour soutenir le poids du corps en montant d'une marche à l'autre, on trouve l'inconvénient que les marches manquent de largeur pour recevoir le pied, ou qu'en passant d'une marche qu'il quitte à celle sur laquelle il va se poser, le bout heurte le bord de la marche qu'il franchit et fait faire souvent un faux pas.

En général, dans les escaliers des maisons d'habitation, les marches ne doivent pas avoir plus de 0^m,19 de hauteur ou moins de 0^m,30 de

largeur. Lorsque les escaliers sont trop doux, c'est-à-dire lorsque leurs marches ont moins de 0^m,135 de hauteur, ce qui répond à des largeurs de marches de plus de 0^m,352, comme on en fait dans les palais et autres monuments de luxe, on éprouve un peu de gêne à les parcourir vu que le mouvement combiné, d'ascension et de progression, y est un peu plus lent que dans les escaliers de pente moyenne, parce que pendant qu'un pied passe d'une marche à une autre, on est forcé de laisser le corps plus de temps portant verticalement sur l'autre pied, autrement le pied montant, poussé par le poids du corps, frapperait la marche avec trop de rudesse en s'y posant; l'inconvénient est à peu près le même en descendant (1).

Dans les escaliers trop roides, l'effort qu'on fait en montant pour enlever le poids du corps sur le pied qui vient de se poser, malgré l'élan donné par l'autre pied, est trop grand et devient fatigant, si le développement de l'escalier est fort long. La largeur des marches peut même être tellement restreinte, qu'il n'y ait plus assez d'espace pour le pied, à moins que comme dans l'échelle de meunier, il n'y ait point de contre-marches pour que le bout du pied puisse s'étendre et que le talon, ou au moins le milieu de la longueur du pied, puisse poser en plein sur la marche.

Ces sortes d'escaliers sont fort incommodes aussi en descendant, parce que, quoique les talons trouvent place sur les saillies des marches, les bouts des pieds ne trouvent pas un appui suffisant sur le bord de celles où ils posent, et l'on est quelquefois forcé de descendre en reculant.

On peut regarder que la limite de roideur des escaliers dits échelles de meunier, est le rapport de 3 pour la base de l'inclinaison, et 8 pour la hauteur, rapport qui est aussi la limite de l'inclinaison d'une échelle de façon que les pieds étant sur un échelon et le corps à peu près vertical, l'on puisse commodément saisir les montants avec les mains pour s'y appuyer.

(1) Lorsque la largeur des marches est tellement grande par rapport à la hauteur, que la somme des dimensions excède 18° (0^m, 486), le compassement des marches n'étant plus en rapport avec la longueur du pas, la gêne est encore plus grande, à moins que cette largeur de marche ne soit assez grande pour qu'on puisse faire un pas au moins sur chaque marche avant de franchir la suivante. Mais cette disposition ne se rencontre que dans des escaliers extérieurs, qui sont classés au nombre des rampes, et dont la construction regarde plutôt les maçons que les charpentiers.

§ 3. Escalier dit à répétition.

Nonobstant ce qui vient d'être dit, on a inventé une sorte d'escalier qui, malgré la roideur qui peut lui être donnée, est d'un usage beaucoup moins incommode que celui de l'échelle de meunier; cet escalier a été décrit dans le *Recueil des machines* de l'Académie de l'année 1716, par M. Godefroi, qui l'a nommé escalier à répétition. On avait déjà exécuté des escaliers de cette sorte dans des vaisseaux, dès 1699, et l'on en voit dans quelques ports, taillés dans les talus des quais; nous en avons représenté un pl. CXIX.

La figure 20 est la projection horizontale.

La figure 18 est un profil sur la ligne *a b* du plan.

La figure 19 est une élévation vue du devant de l'escalier.

La largeur de cet escalier est divisée en deux rampes dont les marches sont égales; mais elles ont le double de la hauteur des marches ordinaires et elles sont disposées de façon que chaque marche d'une rampe correspond au milieu de la hauteur de chaque marche de l'autre rampe, si bien que celui qui monte ou qui descend fait usage de chaque rampe pour un seul pied; il a le limon du milieu entre ses pieds. Il ne fait pour chaque pied que le même effort qu'il ferait dans un escalier ordinaire, puisque dans cet escalier comme dans les escaliers ordinaires, chaque pied passe toujours de la marche où il est posé à celle sur laquelle il doit poser, en passant par-dessus une marche intermédiaire sans y toucher : le partage de l'escalier en deux rampes fait qu'on peut, en donnant beaucoup de roideur à l'escalier, donner à chaque marche une largeur suffisante pour que le pied porte bien, soit en montant, soit en descendant.

Cet escalier se fait à deux rampes dans les espaces étroits; dans ceux qui ont le plus de largeur et surtout lorsqu'il peut y avoir en même temps une file de personnes qui montent et une file de personnes qui descendent, ou deux files montant ou descendant simultanément, on fait l'escalier à trois rampes, celle du milieu ayant le double de largeur de chacune des deux autres.

L'avantage de cette disposition d'escalier, est qu'on peut l'établir dans les emplacements qui manquent d'étendue pour le développement des rampes ordinaires.

II.

ESCALIERS ANCIENS.

§ 1. *Escalier à limaçon et à noyau.*

Fort anciennement, lorsqu'on a commencé à élever des étages au-dessus des rez-de-chaussée, les escaliers atteignaient ces étages par des rampes ou volées toutes droites, à peu près comme des échelles de meunier; ils étaient même établis à l'extérieur : nous en voyons encore à quelques vieilles maisons des villes les plus anciennes, et surtout dans quelques villages. Lorsqu'on voulut abriter ces escaliers, on reconnut qu'il fallait donner une trop grande étendue aux toits pour les couvrir, et un trop grand développement de construction aux murs pour les envelopper, on les renferma dans des tourelles extérieures en les entourant sur eux-mêmes à l'imitation de certains coquillages marins très-allongés (1), le long d'une pièce de bois cylindrique ou carrée, montant verticalement de fond en comble et formant un noyau pour soutenir, par des assemblages, les bouts des marches, scellées par leurs extrémités opposées dans les murs, ou portées sur les entailles des pièces rampantes, faisant partie des parois en pans de bois.

Plus tard, lorsqu'on a placé les cages des escaliers dans les espaces occupés par les bâtisses et sous leurs couvertures, on leur a longtemps encore conservé la forme que leur avait imposée celle des tourelles.

Nous donnons, fig. 1, 2, 6 et 7 de la planche CXXII, des plans de ces anciens escaliers sur noyaux.

§ 2. *Noyau à jour.*

La figure 16, pl. CXIX, est le plan, et la fig. 15 un détail, en projection verticale, d'un escalier également sur noyau, mais dont le noyau a reçu un embellissement fort remarquable; il est à jour, formé d'un seul corps d'arbre, montant du sol du rez-de-chaussée au niveau du plancher d'un deuxième étage (2).

Ce noyau est percé dans son cœur et suivant son axe, comme un

(1) Les *vis*, les *cériles*, les *turritelles*.

(2) Cet escalier fait partie des restes d'une ancienne maison de religieuses, aujourd'hui enclavée dans les bâtiments de l'école préparatoire, dirigée par M. Barthe, professeur à l'école militaire de Saint-Cyr, rue du Grand-Montreuil, à Versailles.

corps de pompe en bois, et son pourtour est entaillé comme une vis, pour former une rampe d'appui au-dessus des marches et contre-marches dont il reçoit les assemblages.

La fig. 17 est une coupe, par un plan vertical passant par l'axe suivant *c r*, fig. 16, pour montrer le profil de ce singulier noyau à jour; une partie du giron d'une marche s'y trouve assemblée. Nous n'entreons point ici dans le détail de l'épure qui a dû être faite par l'adroit et ingénieux charpentier qui a construit ce curieux escalier : le lecteur pourra l'étudier quand nous aurons traité de la construction des parties courbes des escaliers, et de celles de la vis dont on fait usage dans les machines, chapitre XLVI.

§ 3. Escaliers à deux et à quatre noyaux.

Dès qu'on a pu disposer, pour les escaliers, de cages plus spacieuses que celles limitées par les parois des tourelles, on les a construits sur des plans rectangulaires, et l'on a établi les rampes dans le sens de leurs plus grandes dimensions, en les combinant avec des paliers ou avec des quartiers tournants : il en est résulté des escaliers à deux noyaux pour le cas où la forme de la cage a permis l'établissement de deux rampes ou d'une rampe et d'un long palier dans sa largeur. Lorsque les cages, plus spacieuses encore, ont permis de laisser un vide entre les rampes, on les a construits sur quatre noyaux.

Les figures 3 et 4, de la planche CXXII, sont des plans d'escaliers construits sur deux noyaux.

Les figures 3 et 23 sont des plans d'escaliers à quatre noyaux.

La figure 14, pl. CXIX, est le plan d'un escalier ancien, à deux noyaux, avec les détails de sa construction; *m n f h* est le périmètre de sa cage.

La figure 13 est une coupe de cet escalier, par un plan vertical, suivant la ligne *AB* du plan.

b, d sont les deux pièces de bois verticales formant les noyaux; elles reposent sur le patin *t*, couché sur le mur d'échiffre.

c et *c'* sont les limons dans lesquels s'assemblent les marches, ces limons sont eux-mêmes assemblés à tenons et mortaises dans les noyaux; ils ont la pente qui convient aux marches. Le premier, *c*, porte les marches n^{os} 1, 2, 3 et 4 de la première volée, qui sont coupées par le plan vertical (1). Le deuxième, *c'*, porte celles n^{os} 12, 13, 14 et 15 de la

(1) C'est ordinairement sous cette volée que l'on place l'escalier qui conduit aux caves. Cet escalier est le plus souvent en pierre. On choisit cet emplacement pour l'escalier des caves, parce qu'il n'est propre qu'à cet usage.

deuxième volée. Les marches n^{os} 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11 formant le quartier tournant entre la première et la seconde rampe, portent dans le noyau *b*. Ces marches sont formées de bouts de solives.

Les assemblages des marches 1, 2, 3 et 4 dans le limon *b*, et ceux des marches 12, 13, 14 et 15, dans le limon *c'*, sont faits par des encastréments de 0^m,03 au moins de profondeur creusés dans les limons, suivant l'étendue du profil de chaque marche, de façon que tout le bout de la marche y pénètre et y trouve son appui.

Les marches 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, du quartier tournant pénètrent également, sur 0^m,03 de profondeur dans le noyau, sur toute l'étendue de chacun de leurs collets.

Les solives ne remplissant point les largeurs des marches, leurs intervalles sont ourdis en plâtre, comme dans la construction des planchers, chap. XI, et carrelés en briquettes dures ou en carreaux hexagonaux ou carrés de terre cuite, de niveau et à l'affleurement du dessus de chaque marche. Pour orner les marches et leur donner un peu plus de largeur, le devant de chacune porte une moulure saillante obtenue aux dépens du bois de sa contre-marche, le dessous est délardé pour recevoir le lattis du plafonnage.

Les limons ont plus de largeur verticale que celle de l'occupation des marches, afin de former une saillie régulière au-dessus des marches, aussi bien que sur le ravalement en plafonnage du dessous des rampes et des parties tournantes.

Des balustres rampants, carrés ou méplats, sont assemblés entre chaque limon et la rampe d'appui; ces balustres suivent l'inclinaison des rampes dont ils font partie. C'est une conséquence de la loi de continuité dans les formes, dont, avec raison, les anciens charpentiers ne se sont jamais écartés que le moins possible.

Si au lieu d'un quartier tournant, après la marche n^o 5, il eût dû y avoir un palier, *p f h g*, ce palier eût été au niveau de la marche 5.

Cette marche, c'est-à-dire la solive qui la formerait, serait prolongée dans toute la largeur de la cage, ainsi qu'elle est marquée par une ligne ponctuée; elle recevrait le nom de *marche palière*, et le plancher du palier serait formé par des soliveaux assemblés dans cette marche palière et scellés dans le mur *f h*; la marche n^o 12 deviendrait la première d'une seconde volée. Il en serait de même si l'escalier devait trouver un espalier *m n z* au niveau de la marche 16 pour donner issue à quelque appartement; dans ce cas, la solive de la marche 16 qui serait alors une marche palière, s'étendrait dans toute la largeur de la cage, et la marche n^o 1, à l'étage, serait encore la première marche d'une troisième rampe. Si entre la deuxième et la troisième rampe on doit trouver un second quartier

tournant, il sera formé, comme je l'ai marqué dans les deux projections. Dans la projection verticale j'ai ponctué les profils des marches n^{os} 12, 13, 14, 15 et 16, et la coupe de la marche 17 par le parement du pan de bois.

Les marches droites des rampes ont des largeurs égales, celles des quartiers tournants sont étroites à leurs collets d'assemblage dans les noyaux, et fort larges à leurs rencontres avec les parois de la cage; mais, sur la ligne de foulée, *a e i o r*, leurs largeurs sont égales à celles des marches droites, elles sont mesurées par les cordes égales à cette largeur, inscrites dans les arcs de cercle décrits avec le rayon de la foulée et des centres des noyaux.

La construction de ces sortes d'escaliers, ainsi qu'on peut le remarquer, ne présente pas de grandes difficultés. La combinaison des noyaux et des limons avec leurs balustrades rampantes forme des pans de bois dont l'exécution ne diffère en rien de celle des autres pans de bois dont nous avons parlé; et quant aux assemblages des marches, ils sont tracés sur les limons comme sur les noyaux, d'après l'épure ou ételon, au moyen des largeurs et des hauteurs qu'on rapporte avec précision. Ce que nous avons à dire pour des constructions plus difficiles suppléera aux détails que nous croyons inutile de développer ici.

Lorsque les charpentiers y ont été forcés par économie du bois, ou pour donner moins de charge aux escaliers, au lieu de former les marches avec des bouts de solives, ils les ont composées de planches, comme on le voit dans le profil d'une rampe d'escalier, fig. 9.

Le dessus de chaque marche *m* est un plateau en madrier épais; les contre-marches *n* sont des planches de champ assemblées sur toute leur longueur, à rainures et languettes dans les marches, ou au moyen de liteaux, fig. 12.

Ces marches et contre-marches sont assemblées dans les limons *p*, de la même manière que les marches pleines, en y pénétrant au moins de 0^m,03; elles sont scellées dans les parois de la cage. Pour que les vibrations des marches, lorsqu'on monte ou qu'on descend, ne fassent pas rompre les ravalements *t* qu'on fait en-dessous des rampes, comme il arrive lorsque leurs lattes sont clouées sous les marches, on rend ces ravalements indépendants des marches et contre-marches, en établissant pour clouer leurs lattes de petits soliveaux *s* refendus, qui s'assemblent par un bout dans les limons comme les marches, et qui sont scellés aussi de l'autre bout dans les murs. L'escalier dont le noyau est à jour, fig. 15 et 16, est construit de cette manière, si ce n'est que ses marches rayonnent au lieu d'être parallèles.

Les détails de la construction des escaliers à quatre noyaux sont

exactement les mêmes, sinon que, vu le vide laissé au milieu de la cage, entre les quatre noyaux et les limons qui s'y trouvent assemblés, les pans de bois formés de ces noyaux pris deux à deux, et des limons qu'ils comprennent, ne donnent appui aux marches que sur un seul côté, celui opposé au vide dont nous parlons, et les noyaux au lieu d'être arrondis sur deux des arête de la pièce, dont chacun est formé, ne le sont que sur une seule arête, celle qui répond au quartier tournant ou aux paliers répondant aux angles de la cage, fig. 23.

Les escaliers à quatre noyaux ne sont pas toujours construits dans des cages carrées, il arrive fréquemment que la cage étant plus longue que large, et que la largeur étant un peu plus grande que l'espace nécessaire à la largeur de deux rampes appuyées dans un seul pan de bois, on forme des pans séparés comme dans le cas de l'escalier dont le plan est représenté fig. 8, pl. CXXII; ce qui oblige à le construire sur quatre noyaux, avec palier dans les angles ou quartiers tournants à la place d'un des paliers ou des deux. Il peut encore arriver que, vu la largeur qu'on veut donner aux rampes, l'écartement des deux pans soit trop petit pour qu'on puisse établir deux noyaux séparés à chaque bout, et trop grands cependant pour qu'un seul noyau ne devienne pas trop massif; on a fait, dans ce cas, des noyaux creux comme nous en avons représenté sur une petite échelle les deux coupes horizontales, figure 8 de la planche CXX, sur le plan d'un fragment d'escalier à deux rampes avec quartier tournant. Cette disposition est telle que le limon de la première rampe *a* s'assemble sur une des faces planes du noyau *b*, tandis que le limon de l'autre rampe *c* s'assemble sur l'autre face; cette disposition a été aussi appliquée à des escaliers à quatre noyaux uniquement par caprice.

Les charpentiers de l'époque, en s'exerçant à la construction de ces sortes d'escaliers, découvrirent un perfectionnement qu'ils s'empressèrent, sans doute, de pratiquer; ils reconnurent qu'il n'était pas toujours nécessaire que le noyau montât sans interruption de fond en comble, puisque les paliers, soit qu'ils traversassent les cages des escaliers, soit qu'ils n'occupassent que les angles et même les quartiers tournants, pouvaient soutenir des fragments de noyau portant les assemblages des rampes, en leur donnant des appuis solides, ou en les arc-boutant contre les murailles; ce qui donna lieu de supprimer le noyau à tous les grands intervalles laissés entre les assemblages des limons, comme de *m* en *n*, fig. 13, pl. CXIX. Les extrémités supérieures et inférieures des parties de noyaux conservées furent terminées par des boules ou d'autres ornements: nous avons ponctué cette disposition sur la même figure. On voit, en effet, que si la marche n° 16 est une marche palière du premier

étage, elle traverse, comme nous l'avons dit, la cage de l'escalier, et que, par conséquent, elle peut soutenir le poids du bout n du noyau répondant au limon c' , et même celui de la rampe qui monterait plus haut, et l'on voit qu'en même temps les marches 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11, et notamment celles 8 et 9, arc-boutent la portion du noyau b qui pourrait être terminée également par une boule x à son extrémité supérieure, et une boule y à son extrémité inférieure. Ces deux boules sont ponctuées sur la figure 13.

La même disposition peut être mise en usage pour les escaliers à quatre noyaux dans lesquels les noyaux partiels peuvent n'avoir que la longueur nécessaire pour recevoir les assemblages des limons de deux rampes contiguës, étant toujours terminés à leurs extrémités par des boules d'appui et de pendentif. Elle convient aussi à des noyaux creusés, dont nous avons parlé ci-dessus, et l'on doit voir qu'elle a conduit à la construction des escaliers à limons avec courbes rampantes, dont nous allons nous occuper.

III.

ESCALIERS MODERNES.

§ 1. Escalier à limon continu sans noyau.

Soit $A B D E$, fig. 1, pl. CXX, le rectangle qui forme une partie de la cage d'un escalier depuis la ligne $A E$ qui marque en même temps l'emplacement du bord de la première marche, et la largeur du palier du premier étage où l'escalier doit aboutir, par 23 degrés ou marches de 0^m,162 (6 pouces), la hauteur de l'étage étant de 3^m,736 au-dessus du sol du rez-de-chaussée. Il résulte de cette première condition que l'emplacement de la foulée 1-2-3-4-5-6-7, etc., est déterminé, car il faut pour conserver à la hauteur et à la largeur des marches le rapport de 1 à 2 que nous leur avons assigné, que son développement soit de 7^m,146. Au moyen de quelques essais, on acquiert bientôt la preuve qu'on ne peut satisfaire à cette condition, ni avec deux rampes, ni avec trois rampes, à moins de restreindre tellement leurs largeurs que l'escalier serait ou impraticable, ou d'une exiguité peu convenable par rapport aux appartements qu'il doit desservir. Il faut donc qu'il soit composé de deux rampes seulement avec un quartier tournant, et, comme il est indispensable que les largeurs des rampes et celles des quartiers tournants soient égales, les centres des quartiers tournants se trouvent nécessaire-

ment être celui C du cercle tangent aux trois côtés de la cage pour une partie de l'escalier, et celui C' pour l'autre partie, s'il devenait nécessaire d'y établir un autre quartier tournant.

En fixant la largeur des marches à $0^m,325$, des divisions égales de $0^m,325$ de largeur à partir du point 1 jusqu'au point 7, sur le diamètre du cercle dont nous venons de parler, marqueront le nombre des marches de la première rampe; et comme, de cette manière, il y aura 6 largeurs de marche dans la longueur de chaque rampe droite, ce qui fera 13 degrés en comptant celui du palier, il s'ensuivra qu'il faudra que le quartier tournant comprenne 10 marches. Les marches du quartier tournant devant avoir la même largeur sur la foulée que les marches des rampes, il s'ensuit que le cercle 7-12-17 doit avoir un rayon tel qu'un demi-polygone régulier de dix côtés lui soit inscrit. En divisant le cercle MPN en dix parties, chacun des points des divisions $a, b, c, d, P, e, f, g, h$, répond à un rayon sur lequel doit se trouver un angle du polygone et qui marque la position d'une marche.

Faisant donc Mv sur la corde Ma égal à $0^m,325$, largeur d'une marche, et traçant parallèlement à celle de la rampe droite la ligne vu , sa rencontre au point 8 avec la ligne aC détermine la longueur du rayon $C8$ du cercle dans lequel se trouve inscrit le polygone de la foulée dont les côtés 7-8, 8-9, 9-10, etc., sont égaux à la largeur d'une marche. Attendu qu'il n'est pas indispensable de tracer les côtés de ce polygone, que nous n'avons marqué ici que pour rendre notre description plus claire, le cercle décrit du rayon $c-8$ conserve le nom de foulée du quartier tournant. On lui trace deux tangentes aux points 7 et 17, et la ligne 1-7-12-17-23 forme la foulée de l'escalier. Cette ligne devant être à une distance de $0^m,50$ à $0^m,60$ (environ 18 pouces à 2 pieds) de celle du milieu du limon, la position de celle-ci se trouve déterminée en $3^{\circ}-7^{\circ}-12^{\circ}-17^{\circ}-21^{\circ}$, et les lignes qui lui sont parallèles marquent l'épaisseur des limons que nous supposons être d'environ $0^m,126$.

Nous remarquerons que si les marches du quartier tournant, dont les places se trouvent marquées par les points 8, 9, 10, 11, 12, etc., étaient dirigées sur le centre C suivant les lignes 8- a' , 9- b' , 10- c' , 11- d' , 12- p' , 13- e' , 14- f' , 15- g' , 16- h' , leurs collets contre le limon tournant seraient trop étroits pour que les pieds des personnes forcées de s'approcher de ce limon, pussent y trouver une place suffisante. D'un autre côté, si l'on considère la suite des points de rencontre des bords des marches avec le parement vertical du limon dans lequel elles s'assemblent, on remarque qu'une ligne tracée sur ce parement, passant par tous ces points, sera composée de trois parties savoir : une ligne droite de 3' en m , une spirale ou vis de m en n , et une ligne droite de n en 21. Si

l'on fait le développement du parement du limon, fig. 4, on trouve également du point 3' au point m' une ligne droite rampante suivant le rapport de la hauteur des marches à leur largeur; la base 3'- m étant égale à quatre largeurs des marches droites de la première rampe, c'est-à-dire, à la partie 3'- m' du limon, fig. 1, et la hauteur m, m' étant égale à celle de quatre marches, on trouve ensuite une autre ligne droite, fig. 4, de m en m' , rampante aussi, mais beaucoup plus roide, comme l'hélice dont elle est le développement, le parement du limon tournant ayant pour développement $m p n$, et pour hauteur celle des 9 marches, enfin la partie $n' o'$ du développement qui répond au limon de la deuxième rampe, a la même inclinaison que celui de la première rampe.

On voit que si le limon qui doit suivre le rampant de toutes les marches, était construit suivant ces pentes, il présenterait une forme brisée suivant les trois lignes 3'- m' , $m'-n'-n'-o'$, et il serait d'un aspect désagréable. On a remédié à ces deux inconvénients, en faisant *danser* les marches. C'est l'opération par laquelle on dévie les directions d'un certain nombre de marches, pour que le passage des directions parallèles qu'elles ont dans les rampes droites, aux directions convergentes qu'elles doivent avoir dans le quartier tournant, ait lieu moins subitement. Deux méthodes sont suivies pour obtenir ce résultat : l'une par le calcul, l'autre par une opération graphique. Par la première on fixe le rang de la marche d'une rampe droite qui limite l'espace dans lequel les changements de direction des marches auront lieu en ne faisant point varier celle qui répond au point p' , milieu du quartier tournant. Soit, par exemple, qu'il s'agisse de répartir la convergence des marches entre la marche 4-4' et la marche 12- p' : il faut distribuer huit espaces le long du limon, qui croissent du point 12' au point 4' suivant une loi de progression uniforme, par exemple, suivant celle d'une progression arithmétique, qui est la plus simple, composée de 8 termes, dont la somme serait égale à la longueur de $p-4'$.

Supposons que le développement de $p-4'$ soit de 1^m,787, longueur égale à la largeur des trois marches n^{os} 4, 5, 6 de la rampe droite, ayant 0^m,325 chacune, et des 5 collets des marches 7, 8, 9, 10, 11, chacune de 0^m,162;

Retranchant de ces nombres.	1 ^m ,787
la somme des largeurs des 8 marches, si elles n'avaient que 0 ^m ,62	1 ^m ,299
la différence.	0 ^m ,488

devra fournir aux accroissements en progression arithmétique des huit marches, en supposant que ces accroissements suivent la loi des nombres

naturels 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Leur somme est égale à 36, divisant donc la différence $0^m,488$ par 36, le quotient, $0^m,013$ est le premier terme de la progression, tellement que les marches ont, contre le limon, les largeurs suivantes :

La ligne	11' - p'	=	$0^m,175$
id.	10' - 11'	=	$0^m,189$
id.	9' - 10'	=	$0^m,203$
id.	8' - 9'	=	$0^m,217$
id.	7' - 8'	=	$0^m,230$
id.	6' - 7'	=	$0^m,244$
id.	5' - 6'	=	$0^m,257$
id.	4' - 5'	=	$0^m,272$

Dont la somme est égale à $1^m,788$, développement de la ligne 4'-p'.

Ces largeurs, prises à l'échelle, sont portées sur le développement de la figure 4, aux niveaux qui correspondent aux marches, en supposant que le point p' est celui du dessus de la douzième marche; les points qui sont ainsi construits appartiennent à la courbe qui détermine la forme du limon.

Par cette méthode, on n'est en aucune façon maître de donner à cette courbe la forme qu'on veut, et comme elle est tracée par points, on n'a pas une grande certitude de la faire sans jarrets, ni inflexions d'un aspect agréable.

La méthode graphique que je vais décrire est préférable, vu que le point le plus important est de donner au limon une courbure gracieuse dans son développement qui est la partie la plus apparente de l'escalier.

Soit, fig. 4, la ligne brisée 3'-m'-n'-o' qui représente les trois parties rampantes des limons, savoir :

Celles 3'-m' n'-o' qui répondent aux limons des rampes droites, et celle m' n' qui répond au limon du quartier tournant.

On élève une perpendiculaire p' y à cette dernière, par son milieu p', puis portant sur la première de m' en u une longueur égale à m'-p' on élève par le point u une perpendiculaire u z à la ligne rampante 3'-m'. L'intersection de ces deux perpendiculaires donne le centre d'un arc de cercle, tangent en u et en p', aux côtés de l'angle u m' p'; en faisant une opération semblable, à l'égard de l'angle p' n' o', on a l'espèce de doucine u m' p' n' o' qui forme l'arête du limon en satisfaisant à la condition d'être une ligne continue sans brisure. Cette ligne est rencontrée par

des horizontales qui marquent les niveaux ou hauteurs des dessus des marches; le point p' appartenant toujours à la deuxième marche, on rapporte ces points sur le plan, en renveloppant le développement sur la projection du parement des limons. C'est ainsi que sont obtenus les points 5', 6', 7', 8', 9', 10' et 11', fig. 1, qui marquent définitivement les positions des marches et les places de leurs assemblages dans le limon. La même construction donne, au-delà du point p' , les points 13', 14', 15', 16', 17', 18', 19', 20'. A l'égard de la vingt-troisième marche, qui est une marche palière, on la contourne par un arc de cercle xy qui rencontre le limon à angle droit. La distribution des marches que nous venons de décrire, est indiquée sur la figure 1 par des lignes pleines; les lignes ponctuées qui leur sont parallèles, sont les projections de leurs contre-marches.

La figure 2 est une projection verticale de l'escalier, sur un plan parallèle à la ligne AE de la figure 1.

La figure 5 est une autre projection verticale du même escalier, sur un plan vertical, suivant la ligne PQ de la figure 1, mais seulement de la partie qui comprend son empatement.

Plusieurs opérations graphiques concourent à la construction de cette projection. La volute et le patin sont les objets à déterminer d'abord, dès que la forme générale de l'escalier est arrêtée. Nous formons de la description du tracé de la volute et de la première marche, l'objet de l'article 2 ci-après, auquel nous renvoyons pour ne pas interrompre ce qui nous reste à dire, au sujet de l'escalier qui nous occupe.

La figure 5 est la projection des marches et du limon droit. Les marches sont tracées sur cette figure comme si elles étaient vues au travers du limon, elles ne sont que ponctuées et elles montrent la forme de leurs encadrements dans le limon. La surface supérieure du limon doit s'élever au-dessus des marches, et sa surface inférieure doit s'abaisser au-dessous d'une quantité constante pour tout le développement d'escalier.

Ces marches sont dites marches pleines; chacune est d'une seule pièce, profilée avec une moulure. Chacune recouvre horizontalement celle qui lui est inférieure d'environ 0^m,054 (2 pouces), et elle s'y appuie par un joint qui est perpendiculaire à la surface du dessous des marches. Cette surface est un plan pour chaque rampe droite, et elle est une surface gauche pour le dessous du quartier tournant.

Dans cette figure 5, la pièce A est le limon, et la pièce B est le patin; dans les escaliers bien construits, ce patin et la volute sont de la même pièce. Le limon s'assemble dans cette pièce suivant le joint mon , par un tenon $m'o'n'$ marqué en lignes ponctuées.

Pour soutenir le premier limon et le lier au patin, une jambette E leur

est assemblée. La première marche R est solidement scellée sur le mur de fondation, elle descend même plus bas, de $0^m,027$ (1 pouce environ), que les pavés de la cage de l'escalier, afin qu'elle soit mieux retenue. Une saillie de $0^m,027$ à $0^m,054$ est réservée en dessous du patin pour pénétrer dans un encastrement creusé dans le dessus de la même première marche, et assurer la stabilité de ce patin. Cet encastrement est ponctué en yz et xz , fig. 2 et 5.

On prend, fig. 1 et 5, les dimensions nécessaires à la construction de la projection de la volute, dans la figure 2.

Pour construire la partie du limon qui répond au quartier tournant, et que l'on nomme la courbe rampante, on prend, sur la figure 1, les distances horizontales au plan vertical qui a pour trace la ligne PQ sur les deux figures, et les hauteurs sont mesurées par celles des marches. A chacune on ajoute, tant en dessus qu'en dessous, les quantités dont la courbe du limon est plus élevée, fig. 5, pour le dessus, et plus abaissée pour le dessous.

Les surfaces du dessus et du dessous du limon sont engendrées par une droite horizontale, qui s'élève en s'appuyant sur la courbe comprise dans la surface du limon qui reçoit les marches, et dont nous avons fait le développement fig. 4 : cette droite reste toujours normale à la surface verticale du limon. Il en résulte que sur chaque génératrice Cm , Cn , il y a des petits jarrets à cause du passage subit du limon droit au limon courbe, mais on a dû avoir soin, en coupant, de laisser un peu de bois pour ragréer et dissimuler ces jarrets.

On peut éviter ces jarrets en construisant, pour la surface intérieure du limon, des courbes de raccordement du même genre que celles de la figure 4, soit avec des arcs de cercle, soit avec des arcs d'ellipse, ayant soin que les points de contact des raccordements avec les lignes de pente du limon se trouvent aux mêmes niveaux, de façon que les surfaces du dessus et du dessous du limon pourront encore être engendrées par une ligne toujours horizontale, qui s'appuiera sur les deux arêtes du limon; elle ne passera point par l'axe répondant au point C . Il est bien entendu que la courbe que nous supposons tracée sur la surface interne du limon, peut être déduite de celle tracée sur la surface contiguë aux marches, en construisant les points qui sont sur les prolongements des lignes qui répondent à ces marches.

Nous avons figuré les joints par lesquels sont réunies les diverses parties du limon. Celui mis en projection verticale en $abc d$, fig. 2, est mis en projection horizontale en $12'$, fig. 1; celui marqué en Z , même figure, est conclu de sa représentation dans le développement fig. 4, en $aeik$; nous reviendrons sur ces objets un peu plus loin.

La vingt-troisième marche est une marche palière; elle porte de *E* en *A*; elle reçoit les assemblages des solives qui forment le palier, et si l'escalier devait s'élever plus haut que le premier étage, elle recevrait la vingt-quatrième marche, qui serait la première de la troisième rampe; un limon de palier lui est appliqué horizontalement, ou en fait partie d'une seule et même pièce; ce limon de palier se raccorde avec ceux des rampes, dont il fait partie.

La surface du dessous de l'escalier qui forme la coquille, dans toutes les parties où les marches ne sont point parallèles entre elles, est une surface gauche qui suit la loi des positions des marches; sa rencontre avec les murs de la cage est mise en projection verticale en *m p n*, fig. 2, par le moyen des horizontales de la surface, les longueurs de leurs projections sont prises sur la figure 1.

La seule pièce qui présente quelques difficultés dans l'exécution d'un escalier, c'est la courbe rampante qui est la partie du limon répondant au quartier tournant qui reçoit les assemblages de toutes les marches tournantes.

§ 2. *Volute du limon et première marche.*

Pour ne point rendre confuse la construction que nous avons à décrire, nous l'avons faite à part, fig. 3, sur une échelle double.

La première marche d'un escalier est ordinairement en pierre dure, surtout lorsque la cage est pavée de dalles ou en carreaux de pierres dures.

Cette première marche, qui fait partie du patin de l'escalier et lui sert d'empatement, et pour ainsi dire de fondation, reçoit l'établissement de la volute, qui marque la naissance du limon, qui en est comme la souche, et l'appuie avec assez de grâce sur cette espèce de socle. Une spirale continue, telle que la spirale *logarithmique* ou la spirale d'Archimède, ou la spirale développante du cercle, conviendrait à cette volute; mais comme il faudrait la tracer par points, construits d'après les propriétés de celle qu'on aurait choisie, on préfère former la volute de la réunion de plusieurs arcs de cercle, moyen qui est applicable à l'imitation d'un grand nombre de courbes : celle qu'on se propose d'imiter est la développante du cercle.

On opère comme dans la construction de la volute employée pour les chapiteaux de l'ordre ionique, qui est une courbe de cette espèce; mais, attendu que plus le nombre des arcs de cercle employés dans une révolution entière est grand, plus la courbe est gracieuse, et plus elle se rapproche de celle qu'on veut imiter; au lieu de tracer notre volute par quatre

arcs de cercle décrits de quatre centres, nous la composons de six arcs de cercle décrits de six centres.

Pour que la volute rentre exactement sur elle-même, il faut que son contour extérieur rencontre son contour intérieur tangentiellement, dans le point où il se termine. Ainsi la courbe *cyclo-spirale* $m a b c d e f g$ doit rencontrer celle $n g$ tangentiellement en g , après une révolution entière, commençant au point m .

Cette courbe *cyclo-spirale* devant être composée de six arcs de cercle de 60° , il faut encore, pour que le raccourcissement des rayons soit régulier, que les six centres soient pris aux angles d'un hexagone, et que ses rayons décroissent uniformément d'une quantité constante, après que chaque arc de 60° est tracé; et comme la différence du premier au dernier rayon doit être égale à $a g$ ou à $m n$, il s'ensuit que le décroissement du rayon pour chaque arc est égal au sixième de $a g$, et que le côté de l'hexagone 1-2-3-4-5-6, aux angles duquel doivent être les centres, est égal à ce sixième. Cet hexagone étant construit, on l'établit arbitrairement dans la place que l'on juge convenable pour la grosseur qu'on veut donner à la volute, ayant soin toutefois que la ligne $a o$ fasse un angle de 60° , avec la direction des marches, ou de 30° avec celle du limon.

Dans la figure 3, la ligne $a o$ est tracée pour qu'elle coupe la direction de la troisième marche en o , de façon que $n o = m n$; et ayant décrit les arcs $m a$, $n g$, qui forment une partie de la volute, le point 1 de l'hexagone a été établi en faisant $g-2$ égal au quart de $g o$.

L'hexagone 1-2-3-4-5-6 ayant été tracé, et ses côtés prolongés, l'arc de cercle $a b$ a été décrit du point 2, l'arc $b c$ du point 3, l'arc $c d$ du point 4, l'arc $d e$ du point 5, l'arc $e f$ du point 6, et l'arc $f g$ du point 7. Il est évident que chaque rayon diminuant d'un sixième de la largeur $a g$ du limon, le dernier arc de cercle doit nécessairement passer par le point g . Il est encore évident que cette courbe *cyclo-spirale* serait obtenue par un fil qui serait enveloppé sur l'hexagone 1-2-3-4-5-6, ou sur un prisme qui aurait cet hexagone pour base, et dont un bout tracerait successivement des arcs de cercle à mesure qu'il se développerait de la même manière qu'on trace la développante du cercle : les arcs $m a$, $n g$ ne servent ici que de raccordement pour attacher la volute au limon.

Pour terminer la deuxième marche, on la contourne par un arc de cercle de 60° tangent à cette marche et à la ligne $a g$, et dont le centre est en p .

A l'égard de la première marche, sa forme est subordonnée à la situation de l'escalier; ici on veut que la courbe *cyclo-spirale* qui doit en tracer le contour, soit tangente à la ligne qui marque l'emplacement de cette première marche, et au limon dans le même point où commence la courbure intérieure de la volute.

Du point 2 et avec le rayon $2r$, ayant décrit l'arc $r s$, on porte sur le rayon $2-s$, de 2 en f , la quantité $2f = no$. La longueur $s-f$ est divisée en cinq parties, à chacune desquelles est égal le côté d'un hexagone $2-2'-3'-4'-5'-6'$, construit dans l'angle 2 du premier; les points 2', 3', 4', sont les centres des arcs de cercle st , tu , uv avec les rayons décroissants, égaux à $2-t'$, $2-u'$, $2-v'$; le dernier arc vn est décrit du centre i au lieu de l'être du centre 5', afin que cet arc soit tangent au limon dans le point n , parce que le point i étant pris sur la ligne mn , autant à gauche à l'égard du point 5' que le point v se trouve à droite par rapport au point 6', on compense une irrégularité indispensable, vu qu'il y a impossibilité de satisfaire en même temps aux conditions de tangence dans le point n , et de la position de tous les centres aux angles d'un hexagone.

La méthode que nous venons d'indiquer pour la première marche est celle donnée par Rondelet. Pour nous, il nous paraît qu'on peut s'affranchir de la condition de la tangence au point n , et adopter tous les angles de l'hexagone régulier par la détermination des centres, pourvu que la somme de ses côtés ne soit pas plus grande que le grand rayon $2-s$, et que la courbe *cyclo-spirale* enveloppe la totalité de la volute en bois; la volute et la première marche, fig. 1, ont été tracées suivant la méthode que nous venons de décrire.

Nous n'avons donné ici le tracé de la première marche que parce que, bien qu'elle soit en pierre, c'est au charpentier qui compose l'escalier à en prescrire la forme. On peut aussi tracer la première marche comme elle est ponctuée fig. 3; il faut qu'elle fasse socle autour de la volute.

Le dessus de la volute doit se raccorder avec celui du limon sans jarret sensible. Pour obtenir ce résultat, on construit, fig. 6, sur la même échelle que la figure 3, un développement de la surface interne du limon, dont le prolongement est la surface externe de la volute.

$a b$, fig. 6, est la pente du limon, les points a et b répondent aux deuxième et troisième marches; $a' d'$ est le développement de l'arc $a l$ de la figure 3. Le point d , fig. 6, est déterminé par la verticale $d' d$, et l'horizontale $d e$ marque le niveau du dessus de la volute au-dessus du niveau de la première marche $x y$. Cette ligne $d e$ est prise égale au développement de l'arc $l e$, fig. 3; de plus, on a pris $d o = d e$. L'arc $e o$, dont le centre est en g , sur la verticale $c g$, sert de raccordement entre le dessus du limon et le dessus de la volute; on suppose qu'une droite horizontale se meut en s'appuyant sur cette courbe, et se maintient parallèle aux rayons des arcs de cercle qui ont servi à tracer la volute. Ce raccordement n'est pas rigoureux, par la raison que les longueurs des rayons qui ont servi à tracer la projection de la volute, changeant subitement à tous les changements de centres, il en résulte que la surface engendrée comme

nous venons de le dire, est une suite de surfaces gauches qui ne sont pas rigoureusement tangentes les unes aux autres, et qu'elles forment des jarrets. A la vérité, ces jarrets sont peu sensibles, et d'ailleurs l'exécution de cette volute, étant une sorte de sculpture, on raccorde toutes ces surfaces à l'outil; l'important est que le tracé horizontal de la volute soit exact et gracieux.

Lorsqu'on ne fait point de volute pour la naissance ou l'appui du limon, il faut la remplacer par un dé qui en forme comme la souche.

Nous avons représenté, fig. 7, pl. CXX, et fig. 25, pl. CXIX, deux manières de former la naissance d'un limon, mais ces dispositions ne sont point d'effet si satisfaisant qu'une volute, et ne sont employées que lorsqu'on manque d'espace pour l'emplacement ou lorsqu'il s'agit d'escaliers de peu d'importance.

§ 3. Joints des limons.

Le plus ordinairement, dans les escaliers en pierre, soit que le limon fasse partie des marches, soit qu'à l'imitation des escaliers en charpente il en soit séparé, le joint, entre chaque partie du limon, est de la forme $uvxy$, fig. 13, pl. CXXI; mais cette disposition n'est pas la plus convenable pour les joints des limons en bois, vu que, le bois n'étant point aussi pesant que la pierre, elle n'assure pas suffisamment la stabilité des joints.

La fig. 11 représente un assemblage à tenons; les deux parties de limon à assembler sont séparées; les plans qui doivent être en contact lorsqu'on les a mis en joint, sont marqués $uvxy$ sur les deux parties. La partie du limon *A* porte les tenons saillants $uvx'u'$, $x'x'y'y'$, et l'autre partie *B* est creusée de deux mortaises $uvx'u'$, $x'x'y'y'$, qui sont ponctuées. Quelquefois, afin de diminuer la longueur de la partie de limon *A*, qui devrait porter les tenons, on ne fait point de tenons; les deux parties *A* et *B* du limon sont réunies par le joint $uvxy$ et une clef tz , ou faux tenon, fig. 12, pénètre dans les mortaises creusées dans les deux abouts. Ce moyen d'assemblage a l'inconvénient d'affaiblir également les deux limons, et l'on préfère le joint représenté en $uvxy$, fig. 21, dans lequel chaque partie de limon porte en même temps un tenon et une mortaise, le tenon de l'une entrant dans la mortaise de l'autre; ainsi le rectangle $y'x'v'v'$ représente le tenon du limon *B*, et la mortaise du limon *A*; de même, le rectangle $x'x'v'u'$ représente le tenon du limon *A* et la mortaise du limon *B*. Cet assemblage est toujours consolidé par un boulon du genre de ceux que nous avons représentés, fig. 18 et fig. 29 et 24, pl. CXVI.

Nous avons représenté, fig. 20, les deux limons *A*, *B*, séparés pour qu'on puisse voir l'assemblage, et nous y avons indiqué un boulon indispensable pour assurer la stabilité de cet assemblage. Ce boulon est à clavette par un bout et à écrou par l'autre, comme celui de la fig. 34, pl. CXVI. On place le boulon, sa rondelle et sa clavette dans le trou percé dans le bout du limon *B*, avant de mettre en joint; quand l'on met en joint, le boulon pénètre dans le trou du limon *A*, et lorsqu'il est parvenu jusqu'à la mortaise dans laquelle on a placé la rondelle et l'écrou, on serre ce dernier en le faisant tourner avec un ciseau qu'on frappe avec un marteau; l'écrou doit être circulaire et sa circonférence cannelée, comme il est représenté en *x*, fig. 34, pl. CXVI.

L'emploi d'un boulon est un des motifs qui font rejeter, dans la construction des escaliers en bois, la forme de joint de la figure 13. On conçoit que si les abouts n'étaient pas d'une exactitude parfaite, ou si le bois cédaient par suite d'une forte pression, la partie *v x* se présentant obliquement par rapport à la direction du boulon, pourrait rendre l'assemblage difforme et faire éclater le bois, ce qui ne peut avoir lieu lorsque la joue *v x* est dans la direction de la pression, comme dans les figures 11, 20 et 21.

Nous avons marqué, sur la figure 20, pl. CXXI, les logements, profonds de 0^m,027 à 0^m,034, qui doivent recevoir les marches pleines.

Les joints des parties courbes sont tracés comme celui représenté en projection horizontale, figure 17, et en projection verticale en *u u' v x y' y*, fig. 19. Par le point *b* milieu de la hauteur *b' b''* du limon, on suppose une ligne droite horizontale perpendiculaire à la courbure du limon. Par cette ligne projetée en *b d*, fig. 17, et par la tangente à l'hélice passant par le centre du rectangle qui est la coupe verticale du limon, on fait passer un plan. La portion de ce plan suivant lequel les joues du joint sont mises en contact, est représentée, fig. 19, par la ligne *v x*. Par les deux points *v* et *x*, on trace deux horizontales *v o*, *x i*, fig. 17, parallèles à l'horizontale *b d*, et par chacune de ces deux horizontales on fait passer un plan perpendiculaire au premier. Les deux plans des deux abouts parallèles ont pour traces les lignes *u v*, *x y*, fig. 19; ils rencontrent les arêtes du limon en *u* et *u'* et en *y*, *y'*. Ces points, rapportés en projection horizontale, fig. 17, donnent, pour la projection des abouts, les quadrilatères *u v o u'*, *x y y' i*; leurs côtés *v o*, *x i* sont seuls droits; les joints des abouts dans les surfaces du limon sont des courbes *u u'* et *y y'*, qui se confondent presque avec des lignes droites; un boulon serre cet assemblage. Nous l'avons ponctué dans les fig. 17 et 19; il est représenté séparément, fig. 18.

Pour éviter les joints courbes, on a essayé de faire passer les abouts

des joints par des droites génératrices des surfaces rampantes du limon.

Ainsi, soit vx , même planche, fig. 15, la trace d'un plan perpendiculaire au plan de projection verticale et tangent à l'hélice moyenne qui passe par le centre du rectangle générateur du limon. On a choisi deux génératrices $u u'$, $y y'$ des surfaces rampantes également éloignées en dessus et en dessous du point b . On a construit par chaque génératrice un plan perpendiculaire au plan vx . Les deux plans déterminés par cette condition rencontrent la joue du joint suivant les lignes projetées en $x x'$, $v v'$, fig. 16, et les abouts des joints sont limités par les courbes $u v$, $u' v'$, $y x$, $y' x'$ des surfaces cylindriques.

La figure 14 représente un joint de la même forme, tracé sur un limon droit, pour chercher à quelle hauteur il convient de choisir les génératrices des surfaces supérieures et inférieures du limon.

Le joint de la figure 15 est projeté horizontalement fig. 16. On doit remarquer que l'avantage d'avoir, sur la surface rampante du limon, des joints en ligne droite, qui sont très-peu apparents, s'ils sont bien exécutés, ne compense point les inconvénients que présente ce joint. Les abouts n'étant point parallèles, lorsqu'on serre le joint par un boulon, il s'opère entre les plans inclinés une petite pression qui peut faire éclater le bois; mais un autre inconvénient plus grave, c'est que, pour tracer les tenons, il faut faire usage de moyens très-complicés pour obtenir que ces tenons soient dans une même direction, qui ne doit pas être perpendiculaire aux abouts, tandis que, dans le joint de la figure 19, il est fort aisé de tracer les tenons, auxquels on donne une épaisseur à peu près égale au tiers de celle du limon, et une direction perpendiculaire aux plans des abouts.

§ 4. *Projection d'une courbe rampante.*

6-1'-1-6-11-11', fig. 8, pl. CXXI, est la projection horizontale de la moitié d'une révolution du limon d'un escalier qui serait entièrement circulaire. La division des marches a été faite sur le cercle de la foulée; elles sont égales, et elles sont représentées dans cette même projection par les droites répondant aux points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11, qui tendent au centre C du jour circulaire de l'escalier.

Les largeurs des marches à leurs collets, c'est-à-dire aux points où elles pénètrent dans les limons étant égales ainsi que leurs hauteurs, la courbe qui passe par les points où leurs bords entrent dans le limon est une hélice qui est une ligne droite sur la surface du limon développée; les arêtes du limon sont également des hélices.

Soit, dans la projection verticale, fig. 7, la ligne 0 0 au niveau du dessus de la marche immédiatement inférieure à celle cotée 1.

Les horizontales 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, etc., marquent les niveaux des marches comprises dans la projection horizontale sous les mêmes numéros.

Les lignes 1'-1', 2'-2', 3'-3', 4'-4', etc., 11'-11', sont les niveaux des points du limon élevés d'une quantité constante au-dessus des bords des marches; en rapportant par des verticales les points 1, 2, 3, 4, etc., de la projection horizontale, fig. 8, sur les horizontales de mêmes numéros primes, on détermine les points 1"-2"-3"-4"-5"-6"-7"-8"-9"-10"-11", fig. 7, qui appartiennent à l'arête supérieure du limon du côté des marches.

En rapportant également les points 1', 2', 3', 4', 5', etc., de la projection horizontale du limon, fig. 8, sur les mêmes horizontales, on détermine les points qui appartiennent à la deuxième arête du limon répondant à l'intérieur ou au jour de l'escalier. Il suffit de coter trois de ces points 1"-6"-11", pour faire connaître la courbe.

La hauteur du limon ayant été fixée, comme nous l'avons indiqué dans l'article précédent, et sur la figure 5 de la planche CXX, on construira les deux arêtes inférieures du limon par des courbes égales aux précédentes, mais qui sont plus basses qu'elles de toute la hauteur du limon; on obtient, par conséquent, leurs points en portant au-dessous des premiers cette hauteur du limon sur les mêmes verticales qui ont servi à la construction des arêtes supérieures. Ces deux arêtes inférieures du limon sont marquées, sur la projection verticale, des nombres 1"-6"-11", 1"-6"-11". Les deux projections du limon étant terminées, il s'agit de projeter aussi les joints dans lesquels il est tronçonné et qui servent à l'assemblage de ses divers tronçons que l'on appelle *courbes rampantes*.

Dans la supposition que nous avons faite, que ce limon appartient à un escalier circulaire, il est d'usage de diviser en parties égales la circonférence du limon dans sa projection horizontale. Cependant, on est quelquefois forcé de s'écarter de cette régularité lorsqu'il y a des paliers distribués à différents étages sur le développement du limon.

Pour l'exemple qui nous occupe, nous supposons, vu que le diamètre du jour est fort restreint, une division en quatre parties égales de la révolution entière du limon, ce qui place le milieu de chacun des deux joints que comprend la projection horizontale sur les lignes CZ , CZ .

Les joints des parties de courbes rampantes sont faits suivant le même principe que nous avons exposé précédemment, fig. 17 et 19. Pour les mettre en projection sur la figure 7, qui doit présenter une élévation complète de la courbure rampante, il est nécessaire de faire une projection auxiliaire sur un plan vertical perpendiculaire à celui qui contient la ligne de milieu du joint.

La figure 9 est une projection verticale auxiliaire pour le joint qui a, sur la projection horizontale, la ligne CZ pour ligne de milieu; cette projection est faite sur un plan vertical perpendiculaire à cette même ligne.

La partie $d f$ de la verticale est la hauteur du limon, et les quatre courbes marquées sur cette projection sont ses quatre arêtes; ces courbes sont exactement égales à celles qui passent par les points $6''$ et $6'''$ de la figure 7.

Le joint $uvxy$ est tracé comme nous l'avons précédemment expliqué, fig. 11, et sa partie vx est parallèle à la tangente de l'hélice moyenne qui passerait par le centre du rectangle générateur du limon. Il n'est pas nécessaire de construire cette courbe pour tracer sa tangente; il suffit de construire sa sous-tangente.

Traçant donc l'horizontale mt , figure 7, par le centre c du rectangle $1''-1'''-1''''-1'''''$, générateur du limon, point par lequel passe l'hélice dont on veut avoir une tangente, cette horizontale est la trace verticale du plan horizontal passant par ce point. En développant sur cette droite le quart du cercle rz , fig. 8, son développement mt sera la sous-tangente et bt la tangente. Le triangle bmt de la fig. 7 étant rapporté en $bm't'$ de la fig. 9, la ligne $b't'$ est la tangente cherchée. On porte de b en v et en x deux parties égales de $0^m,027$ à $0^m,041$ (1 pouce ou 1 pouce et demi); elles fixent l'étendue de la joue que forme le joint. Les deux abouts uv, xy sont tracés parallèlement à la normale bs , et les deux assemblages à tenons et mortaises, mis en joint, sont tracés comme je les ai ponctués. Ils sont mis en projection horizontale, fig. 8, par des lignes verticales qui les abaissent en u, u', y', y' sur les arcs de cercle auxquels les hélices correspondent, et, pour les mettre en projection verticale sur la fig. 7, après avoir tracé la ligne kk' sur cette figure, au même niveau que la ligne kk' de la figure 9, qui est au-dessous du point b de la fig. 7, de la hauteur de deux marche et demie, on porte, à partir de cette horizontale, fig. 7, sur les verticales élevées par les points de la projection horizontale, des hauteurs prises à partir de la même ligne kk' de la figure 9.

Il faut remarquer que ces points donnant les projections des intersections de la joue vx avec les deux abouts parallèles; ces deux lignes sont parallèles et elles sont projetées au plan horizontal par deux lignes parallèles, tandis que les joints résultant des intersections des abouts avec la surface supérieure et la surface inférieure du limon sont des courbes $u u', y y'$. A l'égard des tenons et mortaises, ils sont formés par des parallélogrammes dont les arêtes sont parallèles au plan tangent à la courbe moyenne du limon, dont la ligne bt' , fig. 8, est la trace en même temps qu'elle est la projection de la tangente.

La construction du joint et des abouts de l'extrémité supérieure de la même courbe rampante est faite par le moyen de la projection auxiliaire,

fig. 10, absolument de la même manière que nous avons procédé pour la fig. 9, si ce n'est que la ligne $k'' k'''$ a été prise en dessus du point b de la même quantité que la ligne $k k'$ a été prise en dessous.

Quoique les joints soient les lignes courbes sur les surfaces rampantes du limon, leur courbure est si faible qu'ils se confondent avec des lignes droites. Dans tous les cas, pour vérifier si l'on a opéré avec exactitude des deux côtés, on trace par les projections horizontales des points extrêmes de ces joints les lignes $u u', u'' u''', y y', y' y''$, et leurs prolongements doivent se couper sur l'axe CP , c'est-à-dire $y y'$, et $u u''$ au point y' , et $u u'$ et $y' y''$ au point y' .

Nous avons haché dans ces deux ensembles sur la projection horizontale, fig. 8, les plans des abouts, pour qu'on puisse les distinguer des joues de l'assemblage.

Nous avons aussi ombré la projection verticale de la courbe rampante, fig. 7, afin de rendre sa forme plus apparente, les ombres ne se marquant point sur une épure construite pour servir à l'exécution.

§ 5. Exécution de la courbe rampante.

Lorsque la projection verticale est complète et qu'elle est faite avec précision, on peut procéder à l'exécution de la courbe rampante. La pièce de bois de laquelle on doit la tirer doit être un parallépipède rectangulaire dressé sur toutes ses faces d'équerre avec la plus grande précision. Les anciens charpentiers n'attachaient aucune importance à cette précision; ils se faisaient, au contraire, un mérite de faire sortir la courbe rampante d'un parallépipède le plus grossièrement équarri; ils faisaient en cela preuve d'habileté, mais aux dépens de la précision; seulement, il fallait le soin le plus minutieux, et souvent encore n'obtenait-on une forme à peu près satisfaisante que par un excès d'adresse dans le travail de l'outil. En équarissant, au contraire, avec précision, bien que l'on doive opérer avec le même soin, on parvient avec moins de peine et en moins de temps à un résultat parfaitement exact.

Le parallépipède qui doit contenir la courbe rampante étant projeté dans la situation qu'il doit avoir pour la renfermer, a deux de ses faces verticales; elles sont projetées horizontalement par leurs traces AB', ED' , fig. 8. Les faces rampantes du parallépipède projetées horizontalement entre ces mêmes lignes sont perpendiculaires au plan de projection verticale et projetées verticalement sur leurs traces verticales EE', DD' , fig. 7, et ses extrémités perpendiculaires à ses arêtes sont projetées verticalement sur $ED, E'D'$, et horizontalement par les rectangles $ABDE, A'B'D'E'$.

Pour tirer par le travail de l'outil la courbe rampante de la pièce de bois que nous venons de définir par ses projections, on doit d'abord considérer quelles sont les positions des surfaces qui définissent cette courbe à l'égard des faces de la pièce de bois, et fixer l'ordre de l'exécution des surfaces. Les surfaces cylindriques sont les plus faciles à exécuter; elles sont aussi celles pour lesquelles les lignes qui doivent guider l'outil sont plus faciles à tracer sur les faces de la pièce de bois, par conséquent, elles doivent être exécutées les premières; et, ces surfaces cylindriques étant exécutées avec précision, il est aisé d'y tracer les arêtes qui guideront l'outil pour l'exécution des surfaces gauches du dessus et du dessous du limon.

Deux méthodes peuvent être pratiquées :

La première, qui est la plus ancienne et qui s'applique notamment au cas d'un bloc très-grossièrement équarri, est empruntée du procédé du piqué des bois (art. 12, chap. IX, tome I^{er}).

La seconde, plus moderne, est imitée en partie de l'Art du Tailleur de pierre, et ne peut être mise en usage que sur des blocs équarris avec précision; elle est aussi celle qui donne les résultats les plus exacts.

Nous décrivons d'abord la méthode par le procédé du piqué des bois.

Pour éviter la confusion sur les fig. 7 et 8, nous transportons la projection du parallépipède qui doit contenir la courbe rampante en $E E' D' D$ en projection verticale, fig. 2, et en $A B' D' E$ en projection horizontale, fig. 3; les mêmes lettres marquent, sur ces deux figures, les mêmes points que sur les figures 7 et 8.

La pièce de bois est établie sur l'ételon de niveau et de dévers, dans la situation où nous l'avons représentée fig. 7 et fig. 2. Pour piquer sur ses faces projetées sur $E E'$, $D D'$, les traces des surfaces cylindriques, après avoir établi et fait coïncider les lignes de rameneret et la ligne de milieu, suivant l'usage, avec celles de l'ételon (les lignes de rameneret sont marquées sur la figure 2), par des points tels que m et n , fig. 3, qui se trouvent sur un même rayon, on relève sur la pièce, au moyen du fil à plomb, les lignes qu'on a tracées sur l'ételon parallèlement à l'axe $C P$; plus on a tracé de ces parallèles sur l'ételon comme sur la pièce de bois, plus on peut avoir de points appartenant aux courbes qu'il s'agit de tracer.

Pour éviter encore la confusion, nous n'avons tracé, sur la figure 2, que les deux lignes $F G$, $F' G'$ passant par les points m et n du rayon $C m n$; les parties $f g$, $f' g'$ ont été relevées sur les faces inférieure et supérieure du bois.

Par les extrémités de ces lignes sur la pièce de bois, c'est-à-dire par les points où elles rencontrent les faces établies de champ sur l'ételon, on fait passer le fil à plomb, et l'on porte le long de ce fil, et à partir

de la face supérieure du bois qui est horizontale, les ordonnées $p m$, $q n$.

Nous avons développé, fig. 2, à côté de la pièce, ses deux faces situées de champ sur l'ételon, en les faisant tourner autour des arêtes $E E'$, $D D'$ pour faire voir ces mêmes ordonnées $f n$, $f m$, sur une face, et $g n$, $g' m$ sur l'autre face; les points m et n appartiennent aux courbes à construire. Lorsqu'on a répété cette opération pour un grand nombre de parallèles à l'axe $C P$, on a sur les deux faces $A A' E' E$, $B B' D' D$, les points des deux courbes qui sont les traces des surfaces cylindriques du dedans et du dehors du limon. On fait aussi la même opération sur les deux faces des bouts de la pièce; on a eu soin de numéroter les points des courbes provenant des opérations faites successivement et par ordre sur toutes les parallèles qu'on a tracées.

La pièce de bois est enlevée de dessus l'ételon, les courbes sont tracées sur les faces où leurs points ont été piqués, et l'on taille à la hache et en dernier lieu à la besaigué, à l'herminette, à la gouge et même au rabot, les surfaces cylindriques, en présentant une règle qui doit passer par les points de même numéro, pour lui donner les positions des génératrices des surfaces. On fait usage aussi des calibres, fig. 10 et 12, pl. LXIX, fig. 13 et 14, pl. LXX. Sur la face supérieure $E E' D D'$ on rencontre, par des lignes qui sont aussi des génératrices, les points où aboutissent les courbes.

Nous avons indiqué sur les quatre faces développées, par des hachures qui présentent une teinte plus foncée que le reste de chaque face, les parties de bois à enlever pour former les surfaces cylindriques.

Lorsque ces surfaces sont taillées et recalées avec précision, on trace dans celle qui est concave le trait *rameneret e r*, fig. 2, qui répond à la ligne $6''-6'''$, fig. 7, et l'on rétablit la pièce sur l'ételon afin de relever de nouveau sur la surface convexe comme sur la surface concave les génératrices répondant aux parallèles dont nous avons précédemment parlé. On porte alors sur ses parallèles les distances prises sur l'ételon à partir des faces de champ de la pièce, savoir : $f o$, $g a$, fig. 7, sur la surface convexe, $f o'$, $g' a'$ sur la surface concave. En répétant cette opération sur toutes les parallèles, on obtient sur la surface convexe et dans la surface concave les points qui appartiennent aux arêtes du limon, et qui servent de guides pour tracer et couper les deux surfaces gauches du dessus et du dessous de la courbe rampante en appliquant une règle qu'on fait passer par les points de la surface convexe, et par les points de la surface concave, qui sont dans les plans passant par l'axe $C P$. On a soin de marquer d'un même numéro les points qui répondent à chaque génératrice, afin de guider la règle dont on se sert pour exécuter les surfaces.

La deuxième méthode dans laquelle on fait usage de panneaux est plus rigoureuse, en ce qu'en aucun cas il n'est nécessaire, comme dans la précédente, de recourir à l'observation de la *polène* (1), ou des défauts du bois; et l'on n'a même pas besoin d'établir sur l'ételon le bloc de bois dont on veut tirer la courbe rampante. Il suffit de construire les différents panneaux et développements nécessaires pour ligner et tracer sur le bois.

La figure 2 représente le développement des faces du bloc de bois, sur lesquelles on a tracé les différents arcs d'ellipses résultant de leurs rencontres par les surfaces cylindriques du limon. Ces arcs d'ellipses peuvent être tracés par deux méthodes :

La première, par points à peu près comme précédemment, en déterminant les emplacements des pieds f, g, f', g' des ordonnées par des parallèles à l'axe CP , et portant ces ordonnées $f n, f' m, g n, g' m$, perpendiculairement aux arêtes EE', DD' , après les avoir prises égales à celles $q n, p m$ de la projection horizontale, fig. 3.

La seconde méthode, que je crois plus exacte, consiste dans la détermination des ellipses, au moyen de leurs axes, ce qui est fort aisé, puisque les grands axes $a b, a' b'$, fig. 2, des deux ellipses $a d b, a' d' b'$, sont déterminés par la rencontre en E, E', H, H' , fig. 7, de la trace verticale de la face supérieure du bloc, par les génératrices des surfaces cylindriques répondant aux points 1, 1', 11, 11' de la projection horizontale, fig. 8; et que leurs petits axes $o d, o d'$, sont égaux aux rayons $C-6, C-6'$ de la projection horizontale, et sont perpendiculaires à l'arête EE' dans le point r , où elle est coupée par l'axe CP ; les grands axes $a b, a' b'$ qui sont sur une même ligne, sont parallèles à l'arête EE' et en sont éloignés de la quantité or égale à $C r$, fig. 3 et 8.

Les ellipses $e h k, e' h' k'$ de la face inférieure sont égales à celles de la face supérieure, et leurs petits axes $q h, q h'$ sont perpendiculaires à l'arête DD' , dans le point c où elle est coupée par l'axe CP des surfaces cylindriques; leurs grands axes $q h, q h'$ sont parallèles à l'arête DD' et en sont éloignés de la même quantité $c q$, égale à $C r$ des fig. 3 et 8.

On détermine encore, par la même méthode, les arcs d'ellipses qui résultent des intersections des surfaces cylindriques avec les plans des bouts de la pièce de bois; nous avons ponctué les ellipses auxquelles ils appartiennent en $a'' n'' b'', a''' n''' b'''$, fig. 3. Les éléments des ellipses ainsi déterminés, les ellipses sont tracées sur des panneaux et découpées pour être appliquées sur les faces auxquelles elles conviennent, et suivant les lignes de repère

(1) Voyez, tome I^{er}, page 335.

qui sont les cordes et les petits axes qui doivent se confondre, pour la face supérieure, avec les arêtes de la pièce de bois, et pour les faces perpendiculaires, avec les lignes $r d$ et $c h$.

On trace les arcs elliptiques avec la pierre noire ou la craie bien affilée, en suivant le contour des panneaux; et si l'on a eu soin de ligner sur les quatre principales faces de la pièce, les intersections d'une suite de plans parallèles à l'axe des surfaces cylindriques et perpendiculaires au plan de l'ételon, celles de ces lignes appartenant à un même plan, et qu'on a marquées d'un même numéro d'ordre, déterminent pendant le travail, les positions des génératrices des surfaces cylindriques, et par conséquent les positions qu'il faut donner à une règle pour diriger l'outil pendant qu'on taille et recale ces surfaces.

Lorsque les surfaces cylindriques sont terminées, et qu'on s'est assuré de leur précision, on rétablit avec la plus scrupuleuse exactitude, tant dans la surface concave que sur la surface convexe, la projection de la ligne $r c$, ainsi que le point b , milieu de cette ligne; il est entendu que les portions des lignes telles que celles $m n$ qui n'ont point été enlevées par la taille du bois, sont restées sur les faces de la pièce.

Sur une matière flexible, soit du papier très-fort, du carton ou de la toile enduite de quelque matière qui lui donne une suffisante solidité, ou même quelque métal laminé très-mince, on a construit le développement des surfaces cylindriques et des arêtes du limon.

La ligne $G Q$, figure 4, est la projection de l'axe du cylindre; ayant porté à droite et à gauche sur l'horizontale, passant par le point G , les développements $m G m'$, $n G n'$ des arcs de cercle 12-6-13, 12'-6'-13'; les lignes verticales $m e$, $m' e'$ marquent l'étendue du développement de la surface cylindrique contenant celle extérieure du limon, et les lignes verticales $n h$, $n' h'$ marquent l'étendue du développement de celle qui contient la surface concave du limon.

Sur la même ligne $m e$, on fait $m b'$ égal à la hauteur de cinq marches, ce qui répond à un quart de révolution de la courbe rampante; et sur la ligne horizontale $m m'$, on porte les développements $m g$, $m f$ des quarts de cercle 6-1, 6'-1', fig. 3 ou 7; les lignes $b' f$, $b' g$, fig. 4, sont des parallèles aux tangentes des hélices qui forment les arêtes du limon. Par les points 6, 6', marquant la hauteur du limon, on trace des parallèles aux lignes $b g$, $b f$; elles sont les tangentes aux arêtes intérieures et extérieures du limon, et en même temps les développements de ces arêtes, de telle sorte que le parallélogramme 1-1''-11''-11 est le développement de la surface convexe du limon, et que le parallélogramme 1°-1'-11'-11° est le développement de la surface concave.

Ainsi, pour tracer les arêtes du limon sur les surfaces convexes et concaves de la pièce de bois, il suffit d'appliquer sur ces surfaces ces mêmes développements découpés, en ayant soin de faire coïncider très-exactement sur chacune la ligne $G-G'$, fig. 4, avec la ligne $r c$, fig. 2, et le point b sur le point b .

Ces développements servent alors de règles pour tracer les arêtes du limon; et si l'on a eu soin de marquer en même temps des horizontales de même niveau sur les deux surfaces, par exemple, les niveaux des marches, ou les traces de leurs girons prolongés, on aura le moyen de tailler les surfaces gauches, tant du dessus que du dessous du limon, en les conduisant au moyen d'une règle appuyée sur les points déterminés par des lignes de même numéro.

Nous n'avons point marqué toutes ces lignes sur les figures, parce que si nous les eussions toutes tracées, ce qui est fort simple dans l'exécution, cela aurait rendu les figures confuses sans utilité.

Nous avons néanmoins marqué sur la bande du développement de la surface convexe du limon, les traces des marches suivant lesquelles on doit faire les refouillements pour loger les collets dans leurs assemblages avec le limon.

Nous avons supposé, comme exemple d'un travail uniquement de charpenterie, que les marches sont parement en coquille dessous la rampe tournante. Cette coquille est la surface gauche de la vis engendrée par une ligne droite toujours horizontale, passant par l'axe et s'appuyant sur une hélice prise à une distance verticale constante au-dessous de la foulée, c'est la même surface qui passe par les arêtes du devant des marches, mais elle est abaissée de la quantité nécessaire pour que les assemblages trouvent au-dessus d'eux une épaisseur suffisante.

Lorsqu'on veut ravalier en plâtre le dessous de l'escalier, on donne un peu plus d'épaisseur au limon, et le lattis est cloué en dessous des marches comme on le voit fig. 21 de la planche CXIX; les marches étant massives, cela n'a aucun inconvénient. Lorsque les marches sont creuses, comme celles de la figure 9, même planche, ce qui se pratique aussi pour les quartiers tournants, on rend le lattis du ravalement indépendant des marches, de la même manière que nous l'avons représenté sur cette figure 9, et les petits soliveaux sont rayonnants et multipliés autant qu'il le faut pour l'extension que prend la surface en s'approchant des parois de la cage.

A l'égard de l'exécution des divers joints des courbes rampantes qui composent le limon d'un escalier tournant, on est dans la nécessité d'en marquer les coupes sur les développements des surfaces cylindriques, afin de pouvoir les tracer en appliquant ces développements sur ces

mêmes surfaces, parce qu'il ne serait pas toujours commode d'établir les courbes sur l'ételon, pour piquer les assemblages comme pour toute autre pièce.

Pour ce qui concerne les tenons et les mortaises, il n'y a rien à tracer sur les développements, vu qu'ils sont perpendiculaires aux abouts des joints, ainsi qu'aux faces de l'assemblage; leur emplacement à l'égard de l'épaisseur du limon se relève au compas sur l'épure, fig. 8, pl. CXXI.

Si l'escalier, au lieu d'être entièrement circulaire, était composé comme celui de la fig. 1, pl. CXX, de rampes droites et de rampes tournantes, au lieu d'un limon complètement circulaire, comme nous l'avons supposé jusqu'ici à l'égard de la figure 8, pl. CXXI, ce limon serait composé de parties projetées en demi-cercle, comme celle de la figure 8, et de parties droites *A* et *B*. La construction serait faite absolument suivant la même méthode, sinon que les marches n'étant plus rayonnantes sur le centre *C*, mais bien *balancées* comme elles sont tracées fig. 1, pl. CXX, la courbe prendrait la forme projetée fig. 2, même planche, que nous avons rapportée fig. 19, pl. CXXI, pour donner les détails d'un joint; et au lieu de représenter les arêtes du limon par des lignes droites, sur les développements des surfaces cylindriques, fig. 4, il faudrait construire de la même manière que nous avons construit les raccordements du limon et des parties de courbes rampantes, fig. 4 de la planche CXX.

§ 6. Escalier à grand palier.

La figure 31, pl. CXXI, est une partie du plan d'un grand escalier contenant le limon *a*, d'un grand palier avec le limon *b* d'une rampe, montant de l'étage inférieur à ce palier, et le limon *d* d'une seconde rampe, montant de ce même palier à l'étage supérieur.

La figure 30 est une projection verticale de cette partie d'escalier.

Les limons des rampes sont raccordés à celui du palier par des courbes rampantes *h*, *k*, arrondies par des quarts de cercle sur le plan. Les raccordements des limons rampants avec le limon horizontal sont faits de la même manière que pour l'escalier représenté pl. CXX.

Les rampes étant droites, il n'y a eu aucun balancement à faire pour les marches, qui restent toutes parallèles. Pour que la marche n° 12 ne s'assemble pas obliquement dans la courbe rampante, elle est contournée à son assemblage par un arc de cercle dont le centre est sur la face du limon *b*; le rayon de cet arc de cercle est déterminé par la condition que

son centre c , soit pris sur la tangente fc qui passe par le point f , où l'arc de cercle rencontre la courbe du limon. Le raccordement du limon horizontal a , avec le limon rampant b , se fait dans l'arrondissement de la courbe rampante; on développe la face verticale du limon sur le même plan que celle du limon horizontal. On marque sur le développement les marches de la rampe droite et l'arête supérieure du limon zx . Cette arête rencontre celle du limon horizontal en x ; dans ce développement, on trace un arc de cercle tu tangent à ces deux lignes, il devient la courbe de raccordement. Le centre de cet arc de cercle est déterminé par la seule condition qu'il passe au-dessus du point v qui représente dans le développement le point f de la projection horizontale, afin que ce point soit compris dans la hauteur du limon.

L'arc de cercle tu décrit du centre y , est enveloppé sur la surface cylindrique de la courbe rampante, pour donner la projection verticale de l'arête qui doit servir de directrice pour la surface gauche de raccordement entre les faces supérieures des deux limons, la génératrice de cette surface étant toujours une horizontale passant par l'axe projeté sur le point o . Deux petits jarrets inévitables (1) ont lieu sur les génératrices uu' , tt' qui répondent aux points de raccordement; l'outil les rend insensibles.

La surface inférieure du limon est la même que la surface supérieure; elle est abaissée de toute la hauteur du limon.

La *courbe rampante*, qui forme le raccordement du limon du palier avec la rampe droite d , montant à l'étage supérieur, se traite exactement de la même manière que celle qui fait l'objet des articles 4 et 5 du présent chapitre, et par ce motif nous n'étendrons pas plus longtemps notre description.

La figure 32 est une coupe de la solive palière, suivant la ligne mn , et couchée sur le plan du papier; la ligne oi est la partie de la ligne mn marquée des mêmes lettres fig. 30. Cette coupe de la solive palière a pour objet de faire voir que le limon du palier qui en fait partie quelquefois, ou qui peut lui être rapporté, est saillant en dessus et en dessous, de la même quantité; c'est cette solive qui reçoit et qui porte les soliveaux du palier.

On place ordinairement les joints d'assemblage entre le limon du palier et les limons des rampes au milieu des courbes rampantes, pour éviter un trop grand nombre d'assemblages; nous avons ponctué ce joint en $vxyz$, fig. 30 et 31; mais il en résulte souvent que la solive palière et

(1) On sait qu'un plan tangent à une surface gauche n'est tangent que dans un point, quoiqu'il passe par une génératrice.

même le limon du palier, exigent des pièces de bois trop fortes; on distribue alors les joints de manière à économiser le cube du bois, en établissant une courbe rampante. Mais cette sorte d'économie n'est pas toujours bien entendue, parce qu'elle nuit à la solidité par l'effet du trop grand rapprochement des joints.

§ 7. Escalier à demi-palier.

La figure 28, pl. CXXI, est la partie du plan d'un escalier répondant à un demi-palier placé dans un angle de sa cage. Le raccordement de la rampe du limon *b*, de la première rampe avec le limon *d* de la deuxième, peut avoir lieu comme précédemment par une courbe rampante *a* tracée dans le plan par des arcs de cercle, dont le centre commun est en *c*.

La figure 25 est une projection verticale de cette même partie d'escalier, sur laquelle nous avons projeté les marches en lignes ponctuées; le raccordement entre les deux limons est tracé dans le développement de la surface concave. Ce développement est représenté fig. 29. Après avoir construit, dans ce développement, les arêtes des limons du côté du jour de l'escalier, on les raccorde par des arcs de cercle qui forment une sorte de doucine pour chaque raccordement.

Nous avons couvert de hachures le développement du limon résultant de ces raccordements qui sont ensuite réenveloppés dans la surface cylindrique concave pour figurer les courbes du limon dans la projection verticale.

On opère de la même manière pour la surface du limon qui doit recevoir les marches. Les développements et les raccordements des arêtes du limon sont tracés fig. 27; ces raccordements sont également faits en forme de doucine par des arcs de cercle, et les points de tangence des arcs de cercle avec les arêtes des limons sont pris comme précédemment, précisément aux raccordements des arrondissements de la projection horizontale.

Nous avons aussi couvert de hachures ce développement de la surface convexe du limon, et nous y avons tracé les refoilements qui doivent recevoir les bouts des marches, en les distinguant par des hachures en sens différents.

Ces développements, fig. 27 et 29, réenveloppés sur les surfaces cylindriques de la pièce de bois, servent à tracer les arêtes du limon qui deviennent les directrices des génératrices des surfaces gauches, lesquelles sont engendrées chacune par une droite horizontale, assujettie à la seule condition de s'appuyer sur ces deux arêtes.

Ce moyen de raccordement présente surtout dans le développement, fig. 39, une sorte d'étranglement qui résulte de ce que la hauteur fixe du limon est constamment mesurée dans le sens vertical; cet étranglement cesse d'être aussi disgracieux lorsque la courbe rampante est exécutée. Mais quelques constructeurs préfèrent tracer le raccordement de la figure 29 par des arcs de cercle concentriques; pour cela on fait, pour les lignes de milieu des deux limons, un raccordement pareil à celui qui précède, et des mêmes centres qu'on a obtenus, on trace des arcs concentriques tangents aux arêtes du limon. Tout l'inconvénient de cette méthode, c'est que les arcs, devant donner les arêtes du limon, n'ont plus la même courbure, et qu'elle diffère de la loi de continuité de forme que les charpentiers aiment à suivre.

La figure 26 est une projection verticale de la courbe rampante, dans laquelle se fait le raccordement. Cette projection est obtenue par les opérations que nous avons ci-dessus décrites, page 115; les joints sont marqués sur la projection horizontale et sur la projection verticale, passant par les mêmes génératrices $u u'$, $y y'$, et sont en entier dans les parties droites du limon, ce qui facilite beaucoup leur tracé et leur exécution; leurs traces $v z x y$, $u z' x' y'$ sur les développements sont aussi des lignes droites, puisqu'elles se trouvent sur des parties planes (1).

Cette courbe rampante ne porte que des mortaises, parce que des tenons auraient augmenté la longueur et l'équarrissage de la pièce dans laquelle il aurait fallu la couper.

Les boulons qui fixent chaque assemblage, et que nous n'avons pas marqués dans la figure, sont établis dans la direction des limons droits, et vu la grande courbure de la courbe rampante, les têtes à clavettes sont noyées dans les limons droits et les écrous sont logés chacun dans une entaille faite dans la surface convexe de la courbe rampante, au fond du logement d'une marche.

Pour éviter la difficulté que présentent les raccordements, dans le cas qui vient de nous occuper, et donner à la courbe rampante la même grâce que si la totalité du limon était courbe, il faut, si on le peut, disposer les marches, de façon que leurs collets soient égaux, aussi bien sur les paliers que sur les rampes droites, et pour cela il faut donner à l'arrondissement, fig. 22, un développement suffisant, de façon que les arcs $u v$, $v x$, $x y$ soient égaux aux largeurs des marches $s t$ ou $y z$, parce qu'alors le dé-

(1) Il est néanmoins préférable, lorsqu'on n'est pas gêné par l'exiguïté des équarrissages, que les limons soient prolongés et contournés chacun sur la moitié du développement de la courbe rampante, et qu'ils n'aient entre eux qu'un seul joint qui est ponctué en $v x y z$, fig. 26.

veloppement de l'arête $stuvxyz$ est une ligne droite. On en conclut le développement sur la surface qui répond à l'arc $u'v'x'y'z'$, et si c'est l'arête correspondant à cet arc qui doit être le plus en apparence, c'est dans cet arc qu'on fait $u'v'$, $v'x'$, $x'y'$ égaux aux largeurs $s't'$ ou $y'z'$ pour que les arêtes du limon du côté du jour soient des lignes droites dans le développement.

A l'égard des marches, on les contourne près du limon, par des arcs de cercle dont les centres sont pris sur les projections des faces droites du limon, et dont les rayons sont déterminés de sorte que ces arrondissements des marches passent par les points des divisions égales $v x$ de l'arrondissement, et soient tangents aux rayons cv , cx .

IV.

ESCALIERS SANS LIMON.

§ 1. *Escaliers droits.*

Ce n'est que vers la fin du siècle dernier qu'on a supprimé les limons des escaliers; les premiers essais ont été faits sur des escaliers en pierre, on leur a donné, par ce moyen, une grande élégance aux dépens de leur solidité. Néanmoins ce mode de construire eut une si grande vogue, que les charpentiers s'empressèrent d'imiter une innovation qui n'a point, pour les escaliers en bois, le même inconvénient que pour les escaliers en pierre, vu qu'on applique aux assemblages en bois des moyens de consolidation, qui ne sont point apparents et que la pierre ne comporte pas.

La figure 23, pl. CXIX, est une projection verticale, et la figure 24 une projection horizontale d'une partie d'escalier sans limon. Les marches sont engagées dans les parois de la cage, et du côté du jour de l'escalier, elles présentent les extrémités qui précédemment étaient engagées dans un limon. Dans les premiers essais qui furent faits, ces extrémités se terminaient par le profil des marches, suivant la surface qui, auparavant, formait le parement du limon; depuis on a fait suivre la moulure du devant de la marche sur son profil en retour.

Dans les escaliers en pierre, la stabilité est le résultat de l'appui mutuel que les marches se donnent en formant vousoirs, dans une sorte de voûte en plate-bande rampante; mais la solidité de la construction tient principalement au scellement des marches dans les murs, ce qui les empêche de tourner et d'opérer un trop grand effort dans les joints; car

il est reconnu que sans le secours du scellement il est fort difficile de construire, sans limon, une rampe isolée un peu longue, à moins de lui donner une grande épaisseur.

Dans les escaliers en bois, la coupe du joint et le scellement des marches dans les murs ne suffiraient pas, surtout pour un escalier qui aurait une grande largeur d'embranchement, parce que la flexibilité des bois permettrait aux marches de fléchir ou de se tordre; on a donc imaginé de consolider l'assemblage des marches, en les boulonnant les unes aux autres.

Nous avons représenté dans un profil, fig. 2, et dans une projection horizontale, fig. 3, d'un fragment d'escalier sans limon, la position qu'on donne à chaque boulon. Nous n'avons figuré qu'un seul boulon pour éviter la confusion sur le dessin. La marche qui est dessinée en lignes ponctuées, que l'on suppose ôtée, est reculée jusque dans la position où elle est représentée, fig. 4 et 5, en traits pleins; le trou que doit traverser le boulon ainsi que la place que doit occuper son écrou sont projetés en traits ponctués.

On voit que toutes les marches sont unies deux à deux par un boulon, et que chaque marche est traversée par deux boulons; l'un qui y appuie sa tête, l'autre qui y appuie son écrou, comme on le voit dans la figure 5, où j'ai ponctué les trous des boulons, l'emplacement *a* de l'écrou d'un boulon, et l'emplacement *e* de la tête de l'autre.

Lorsqu'un escalier sans limon a un grand embranchement, on assujettit les marches par deux ou trois cours de boulons disposés de la même manière. On voit par ce détail que les boulons ne sont point apparents, et qu'ils donnent une très-grande solidité à l'escalier. Il faut avoir soin que les boulons aient toujours leurs têtes et leurs écrous dans les joints en croupe, afin que leur pression s'exerce sur ces joints, et même le plus près possible de la surface inférieure de l'escalier, afin de diminuer, autant que possible, la longueur du levier sur lequel agit le poids des personnes ou des fardeaux qui passent sur l'escalier; ce levier ayant pour chaque marche son point d'appui au bas de la contre-marche. On doit employer pour la construction de ces sortes d'escaliers du bois excessivement sec, vu que si les joints s'ouvraient par l'effet de la dessiccation du bois, il n'y aurait pas moyen de serrer les écrous, à moins de démonter entièrement l'escalier.

Le plus ordinairement, dans les escaliers sans limon, les marches sont pleines et la surface du dessous de l'escalier est formée des dessous des marches; on fait cependant quelquefois, par économie, des escaliers sans limon à marches creuses. Dans ce cas, elles sont soutenues par un faux limon entaillé en dessus selon le profil des marches, comme celui

de la figure 7, pl. CXIX. Les marches et contre-marches sont clouées ou attachées avec vis, sur les limons (1). Le dessous de l'escalier, dans ce cas, est presque toujours boisé en planches assemblées à rainures et languettes entre elles, et dans le faux limon, ou bien il est ravalé par un plafonnage soutenu par de petits soliveaux, comme dans la figure 9.

§ 2. Escaliers circulaires.

Les escaliers circulaires, sans limon, soit qu'ils fassent des révolutions entières, soit que des rampes tournantes se trouvent combinées avec des paliers droits ou tournants, se construisent absolument de la même manière que l'escalier sans limon, à rampe droite, que nous venons de décrire dans l'article précédent, sinon que les marches convergent dans la projection horizontale sur un centre, ou qu'on les a fait *danser* par un *compassement* que nous avons précédemment décrit, page 307.

J'ai représenté en projection verticale, fig. 26, pl. CXIX, et en projection horizontale, fig. 28, une portion d'un escalier en bois dans une cage circulaire, exécuté en marches massives. J'ai supposé que la moulure qui décore le devant des marches, et qui se profile en retour du côté du jour, est carrée, afin que les angles de cette moulure étant bien sensibles, on puisse voir qu'ils sont tous dans une hélice $a b d$, fig. 26, qui suit le rampant de l'escalier, et se trouve tracée dans la surface cylindrique qui a pour base le cercle $a b d$, fig. 28. L'arête du dessous de l'escalier $a' b' d'$, fig. 26, est aussi une hélice qui, dans la surface cylindrique des marches, a pour base le cercle ponctué $a' b' d'$, fig. 28. Les joints des marches sont, comme dans l'escalier droit, composés chacun de deux parties : l'une horizontale, par laquelle chaque marche pose sur celle qui lui est immédiatement inférieure; l'autre qui est en coupe. On peut s'écarter, dans la construction d'un escalier en bois, de la règle qui prescrit de faire des joints normaux à toute l'étendue de la surface.

Lorsqu'on a déterminé la génératrice qui marque la ligne du joint dans la surface du dessous de l'escalier, la ligne $m n$, par exemple, on peut faire passer par cette ligne et par le joint en coupe $m o$, un plan qui rencontre le plan horizontal du contact des marches, suivant $o p$ parallèle

(1) Si l'on ne veut pas que ces vis soient apparentes, on fixe par des vis un fort liteau au-dessous de chaque marche, et ce liteau est ensuite cloué ou attaché par des vis en dedans du faux limon, comme pour les contre-marches, fig. 12. On peut aussi attacher chaque marche au limon par deux petits T en fer sur la largeur de chacune. La tête de chaque T est fixée par deux vis dans le dessous de la marche, et son pied est attaché par des vis au limon. Un de ces T est représenté séparément en x.

à *m n*. Ce plan peut servir de joint entre les deux marches, et l'on s'en contente lorsque l'escalier n'a qu'un petit emmarchement, parce que l'exécution d'un plan est plus facile que celle d'une surface gauche. Mais lorsque l'escalier est fort large, il est indispensable d'imiter complètement, à l'égard de ce joint, ce qui est pratiqué dans la coupe des pierres; ainsi, chaque joint prend la forme de la surface gauche qui contient toutes les normales à la surface du dessous de l'escalier passant par la ligne de joint de cette surface.

Nous avons représenté, fig. 41, en projection horizontale, la disposition des boulons qui réunissent les marches deux à deux comme dans l'escalier droit, fig. 2. Nous n'avons tracé qu'un seul boulon dans la projection verticale, fig. 40, pour éviter la confusion qui serait résultée de la représentation d'un plus grand nombre.

Quand un escalier tournant a beaucoup de largeur, et que l'on craint que le scellement des marches dans les parois de la cage ne suffise pas à leur stabilité, on place, comme nous l'avons déjà dit au sujet des escaliers droits, plusieurs cours de boulons qui serrent les contours de l'escalier; dans ce cas, il est indispensable que les joints soient des surfaces gauches normales à la surface du dessous de l'escalier, pour que la pression entre les marches soit partout perpendiculaire aux joints.

Les fig. 26, 28, 40 et 41 sont relatives à un escalier dont les marches en bois seraient pleines. On peut faire des escaliers tournants sans apparence de limon, à marches creuses, en suivant la même construction que nous avons indiquée ci-dessus, page 302, sinon que le limon entaillé pour recevoir les marches et contre-marches doit être tracé et exécuté par parties de courbes rampantes, suivant les procédés que nous avons décrits pages 315 et 318.

Les marches et contre-marches sont attachées comme nous l'avons dit, et le boisage du dessous se fait également en planches ou en ravalements de plafonnage. Quelques constructeurs d'escaliers réunissent les parties de ces sortes de limons par des traits de Jupiter; nous ferons remarquer que cet assemblage est assez difficile à exécuter, et qu'il altère la solidité du limon en affaiblissant le bois. Nous préférons le joint tracé comme pour les limons ordinaires, consolidé par un ou deux boulons.

Nous pensons que l'on pourrait former de très-grandes parties de faux limons pour des escaliers de l'espèce qui nous occupe, en courbant des madriers suivant les hélices que doivent suivre leurs marches; il suffirait pour cela, après avoir équarri les madriers aux dimensions convenables, de les amollir suffisamment par l'action prolongée et une forte pression de la vapeur, et de les tourner ensuite à plat en spirale de la pente

voulue, sur un cylindre de la grosseur du vide de l'escalier. Lorsque cette sorte de courbe rampante serait refroidie et suffisamment séchée sur son moule, elle en serait retirée et entaillée pour recevoir les marches et contremarches. (Voyez le chapitre V.)

On conçoit que ce procédé pourrait même être appliqué aux limons ordinaires pour les escaliers de moyenne dimension, pour lesquels les limons ont peu d'épaisseur et qu'il offrirait même le moyen de faire d'une seule pièce des courbes rampantes avec les parties des limons droits entre lesquels elles servent d'intermédiaires.

V.

DIVERSES COMBINAISONS D'ESCALIERS.

§ 1. *Escaliers sur noyaux.*

Nous avons réuni dans la planche CXXII les plans de divers escaliers, autant pour faire connaître à nos lecteurs quelques-uns de ceux qui ont été exécutés, que pour leur indiquer des combinaisons qu'ils peuvent choisir comme sujets d'épures et d'étude.

Fig. 1. Escalier en tour ronde sur noyau cylindrique; c'est une des plus anciennes formes.

Fig. 2. Escalier en tour carrée avec noyau carré et empatement.

Fig. 6. Escalier sur noyau dans une cage octogonale.

Fig. 3. Escalier en cage oblongue sur deux noyaux. Cet escalier est du genre de celui dont nous avons donné un détail fig. 13 et 14, pl. CXIX, si non qu'au lieu d'un quartier tournant, de grands paliers réunissent les rampes droites.

Fig. 9. Escalier à deux noyaux dans lequel les marches sont tracées de façon que leurs largeurs sont égales sur la foulée et que leurs directions sont tangentes à des arcs de cercle, afin que leurs assemblages dans les noyaux et les limons varient suivant une loi régulière.

Fig. 8. Escalier à quatre noyaux; dans un bout de la cage les rampes droites aboutissent à des demi-paliers séparés par une rampe d'un très-petit nombre de marches. Deux noyaux montent de fond en comble dans cette partie. Du côté de l'entrée de la cage les rampes s'appuient sur de grands paliers auxquels répondent deux poteaux qui ne montent que depuis le premier grand palier.

Fig. 13. Escalier à quatre noyaux et à trois rampes. La rampe du milieu *A* monte du palier *a* au palier *b*; les deux rampes *B, B*, parallèles

et égales, montent du palier *b* au palier *a* de l'étage supérieur; les limons sont comme ceux de l'escalier, fig. 3.

Fig. 12. Escalier circulaire sur poteaux remplaçant les noyaux. Cet escalier monte depuis le point *d* répondant au sol, et aboutit au petit palier *b* qui donne issue au grand palier *c* qui entoure l'escalier et communique aux diverses parties du bâtiment.

Fig. 23. Escalier sur quatre noyaux, dans une cage carrée et avec demi-paliers. L'entrée de la cage étant en *a*, l'escalier monte de *b* en *c*, de *c* en *d*, de *d* en *e*, etc.

§ 2. Escaliers à limons contournés.

Fig. 5, pl. CXXII. Escaliers à limons avec grands paliers.

Fig. 10. Escalier à limons avec quartier tournant sur courbes rampantes. Cet escalier est du genre de celui qui fait l'objet de la planche CXX, sinon que la première rampe entièrement en pierre aboutit à un grand palier.

Fig. 11. Grand escalier à limon avec demi-paliers, *a b c*, entre les rampes, et grand palier *d a* aux étages.

Fig. 15. Grand escalier à rampes droites assemblées sur des limons composés de parties droites et de parties en courbes rampantes, afin de ménager des demi-paliers dans les angles, et de compasser les assemblages des marches de façon que les arêtes du limon du côté des marches, ou du côté du jour, soient des hélices tracées par des lignes droites sur le développement du limon.

Fig. 4. Escalier double à limon, dans une cage octogonale, et aboutissant à chaque étage à un palier commun qui l'entoure.

Fig. 14. Escalier à limon suspendu, tiré du *Recueil* de Krafft. Les rampes de cet escalier aboutissent à un palier général qui entoure le carré dans lequel il est construit; la première marche de chaque rampe occupe toute la largeur de la cage de l'escalier. Ainsi la partie circulaire de l'escalier est soutenue par des tiges de suspension en fer, en *xy z*. On voit que si ce système d'escaliers devait s'étendre à plusieurs révolutions, il faudrait nécessairement qu'à chaque étage la première marche, en montant, occupât dans le carré le côté opposé à celui auquel la dernière rampe serait arrivée. Ainsi la rampe figurée dans le dessin aboutissant sur le côté *ab*, il faut que la deuxième rampe commence sur le côté *de*, pour arriver sur le même côté, à l'étage au-dessus, et que la troisième commence sur le côté *ab*, la quatrième sur le côté *de*, etc. Cette combinaison produirait un effet original, et serait d'un usage peu commode.

Fig. 19. Escalier à limon, dans une cage carrée, la largeur des rampes diminuant à chaque étage.

Fig. 26. Escalier à limon et rampes droites, dans une cage triangulaire, avec quartiers tournants et un seul palier à chaque étage répondant au côté de la cage triangulaire; on peut substituer des pans coupés aux arrondissements des murs dans les angles.

Fig. 25. Petit escalier dans une encoignure; on peut commencer à monter sur le côté. On peut aussi placer la première rampe devant l'entrée de la cage, avec un palier dans l'angle pour reprendre ensuite la rampe qui longe un des côtés de l'encoignure: le palier se trouve opposé à l'angle droit de la cage, il peut être rectiligne ou en arc de cercle, suivant le cas pour lequel l'escalier est établi.

Fig. 18. Escalier demi-circulaire. La communication se fait d'un étage à l'autre par demi-révolutions entières, et suivant la hauteur de l'étage de façon que les paliers sont entiers, droits ou cintrés, et de l'étendue du diamètre.

Dans cet escalier, les paliers sont pris en dehors du demi-cercle, afin que la rampe demi-circulaire ait plus de développement.

Fig. 20. Escalier du même genre; le palier dont la longueur est toujours égale, à peu près, à celle du diamètre, est pris aux dépens de l'espace demi-circulaire. Dans cette disposition, les marches tendent au milieu du limon du palier, ou bien on les dirige tangentiellement à des courbes que nous avons ponctuées. Quand un palier est cintré, les marches doivent être cintrées.

Fig. 28. Escalier à limon dans une cage elliptique tracée par quatre arcs de cercle. Les marches répondant à chaque arc de cercle tendent à son centre, ce qui n'a aucun inconvénient lorsque les rayons qui servent à tracer les parties des courbes ne sont pas de grandeurs très-différentes; si, au contraire, les rayons diffèrent beaucoup, on fait danser les marches, et le moyen le plus simple, c'est de diviser la foulée et la face du limon qui reçoit les marches, en un même nombre de parties égales; les marches sont tracées alors par les points de mêmes numéros.

Fig. 29. Escalier à deux jours: on commence à monter en *a* par la rampe qui prend naissance aux marches d'empatement et qui portait la voûte; tournant d'abord à gauche, on passe à une rampe *b* dans laquelle on tourne à droite, pour tourner ensuite à gauche en *d*, et terminer la révolution autour des deux jours.

Fig. 32. Escalier à trois jours, dans une cage formée par des arcs de cercle: l'escalier commence à monter au point *a*, où se trouve l'entrée de la cage; on monte entre les limons ponctués, en passant au-dessous des rampes supérieures *g h i* et *k* pour arriver au point *b*; la montée continue

de *b* en *c* et de *c* en *e*, elle passe encore sous les mêmes rampes *g h*, *j k*, elle apparaît en *d* pour venir parcourir le tournant *e f g*; puis, passant entre la rampe *c d e* et la rampe *i k*, elle continue suivant *h i j* jusqu'à *k*, où la révolution entière autour des jours ou des noyaux est terminée. L'escalier pourrait être continué en parcourant, dans le même ordre, une nouvelle série de rampes disposées de même manière.

Ces deux dispositions d'escalier ont l'avantage de faire gagner rapidement beaucoup de hauteur dans un petit espace. Les parties tournantes dans les demi-tours creuses ont leurs marches ou leurs faux limons scellés dans les murs. Les rampes qui réunissent ces espèces de quartiers tournants sont suspendues; leurs deux limons sont isolés des murs. Ces sortes d'escaliers ne peuvent manquer d'être d'un effet très-pittoresque.

§ 3. Escaliers sans limons.

Tous les escaliers à limons peuvent être construits sans limons; c'est pour cette raison que nous n'en avons pas tracé un grand nombre, vu que leurs plans n'auraient eu, avec ceux que nous avons décrits ci-dessus, d'autres différences que la suppression des limons, et nous ne nous arrêterons qu'aux principaux cas.

Fig. 17. Escalier sans limon dans une cage circulaire.

Fig. 7. Petit escalier sans noyau, dans une tourelle répondant à un angle de bâtiment.

Fig. 22. Escalier demi-circulaire, à trois rampes : la première aboutit à un palier sur lequel sont appuyées deux rampes montantes qui aboutissent toutes deux au même palier supérieur, dont la longueur est égale au diamètre en dehors duquel il est pris : ce palier peut être soutenu, pour la décoration, par des pilastres, il pourrait être cintré.

Fig. 24. Escalier sans limon, demi-circulaire : on commence à monter en *a*, et les marches qui tendent toutes au centre, aboutissent à un grand palier *a b* égal en longueur au diamètre. Ce palier est supposé, pour la décoration, soutenu par des colonnes qui peuvent être supprimées si l'on donne à la solive palière une force suffisante, à moins qu'elle ne soit cintrée dans son plan.

Fig. 21. Escalier circulaire dont la rampe tournante diminue de largeur à mesure qu'elle s'élève : cette disposition peut s'exécuter avec un limon. Quelques constructeurs veulent que la surface des bouts des marches ou la surface du limon soient coniques; il me paraît mieux que ces surfaces soient engendrées par une ligne verticale s'appuyant sur la spirale

conique ou logarithmique, qui résulte de la pente uniforme et du rétrécissement de la rampe.

Fig. 16, escaliers à huit rampes qui forment deux escaliers doubles concentriques; toutes les rampes partant des points *a* arrivent en montant aux paliers *b* après avoir passé par des paliers de repos *c*.

On peut aussi faire commencer à monter aux points *a* pour les rampes de l'escalier intérieur, et du point *a'* pour les rampes de l'autre escalier, de façon que celles-ci arrivent aux paliers opposés *c* après avoir passé sur les paliers de repos *b*.

La figure 30 est un escalier sans limon dans une cage elliptique. Quoique les rayons de courbure d'une ellipse ne changent que peu à peu et suivant une loi fort régulière, pour peu que la différence des axes de l'ellipse soit un peu grande, si après avoir divisé la foulée en parties égales, pour fixer sur cette ligne la largeur des marches, on fait ces marches normales à l'ellipse, il en résulte que leurs bouts du côté du jour sont beaucoup trop étroits vers les extrémités du grand axe. Pour remédier à cet inconvénient, il faut diviser la courbe du jour en autant de parties égales que l'on a divisé la foulée, et les points de mêmes numéros sur les deux courbes déterminent les directions des marches.

§ 4. Escaliers isolés.

On construit pour des communications entre deux étages et dans lesquelles il ne passe pas beaucoup de monde à la fois, de très-petits escaliers sans limons, et qui ne touchent à rien sinon sur le sol où ils sont établis et où commence leur montée, et sur le plancher où se trouve leur arrivée.

Nous en donnons deux exemples.

Fig. 27, pl. CXXII, petit escalier sans noyau et isolé. Il est construit soit en marches pleines, soit en marches creuses, comme nous l'avons précédemment expliqué, et profilées des deux bouts. Lorsque la largeur des marches pleines et celle qu'on peut donner à leurs joints ne permettent pas l'emploi des boulons pour consolider ces joints, des bandes de fer incrustées dans la surface du dessous de l'escalier la parcourent dans tout son développement en suivant le rampant de cette surface, et y sont fixées par de fortes vis à une distance uniforme des deux bouts des marches, et, faute de mieux, elles suppléent les boulons, et consolident tout l'assemblage, de quelque manière que les marches soient construites.

Lorsqu'on peut trouver des appuis contre des murs qui seraient rapprochés de l'escalier, comme ceux figurés en lignes ponctuées *t u v*, on

soutient la rampe par des scellements de fer y et z ; autrement, lorsque l'escalier fait, ainsi que la figure le représente, une révolution entière, il est indispensable de le soutenir par de petites colonnettes en fer coulé placées en dessous en x , y , z , ou de le suspendre au plancher supérieur par des tringles verticales en fer forgé établies aux mêmes points.

La figure 31 est la projection horizontale d'un petit escalier construit en limaçon sur noyau et sans limon. L'assemblage des marches dont le noyau est exécuté, comme nous l'avons décrit en parlant des escaliers anciens, page 299; quant aux extrémités des marches, elles sont profilées et jointes entre elles comme dans l'escalier précédent. Vu que l'escalier est porté sur un noyau, il peut se passer de soutien auxiliaire lorsqu'il n'est pas destiné à servir pour une communication très-active, ou pour supporter le passage de charges très-grandes. Cependant, pour peu qu'il y ait à craindre de violents efforts, il est utile de donner de la force à la bande de fer du dessous des marches, et de la fixer solidement à ses extrémités; on doit de plus placer à chaque quart de révolution une forte équerre en fer dont une branche s'étend horizontalement dans le joint de deux marches, tandis que l'autre branche est incrustée verticalement dans la surface du noyau et y est fixée par des vis et par un boulon au moins.

J'ai vu le modèle d'un petit escalier en bois de la même forme, dans lequel chaque marche massive porte, du même morceau, un tronçon cylindrique du noyau de même hauteur qu'elle. La portion de l'hélice du profil de dessous de chaque marche est raccordée avec la surface cylindrique du noyau par une sorte de surface gauche qui laisse à la marche toute son épaisseur près du noyau. Les marches portent l'une sur l'autre, à plat, sans plan de joint normal. Tous les tronçons du noyau sont traversés par un axe commun vertical en fer formant un très-fort boulon. Chaque marche porte à son extrémité, et en dehors, un petit barreau vertical qui soutient un cordon servant de garde-corps. En faisant tourner les marches autour de l'axe du noyau, toutes leurs contre-marches peuvent être placées dans un plan vertical, et affleurer le parement d'un mur pour dissimuler l'escalier quand on n'en fait point usage. La figure 27 représente deux projections d'une des marches de cet escalier.

On peut construire, dans le même système, un escalier double, chaque tronçon du noyau portant deux marches dans des directions diamétralement opposées.

CHAPITRE XXXVI.

ÉTAIS.

Étayer un bâtiment, c'est lui donner momentanément des soutiens en bois pour l'empêcher de s'écrouler s'il menace d'une chute prochaine, soit par suite de vétusté, soit par suite de vices de construction.

On étaie aussi un bâtiment lorsqu'on veut faire quelques changements ou de grandes réparations, des reconstructions même, dans ses parties inférieures, qui nécessitent de démolir des murs ou des parties de pans de bois. Sans les étais, ces démolitions laisseraient privées de soutiens les parties supérieures, qui ne sauraient, à cause de leur poids ou du mode de leur construction, se soutenir seules.

Quelle que soit la solidité d'une bâtisse, dès qu'il s'agit d'y travailler en sous-cœuvre, la prudence fait un devoir de l'étaier avant de rien entreprendre. Il en est de même des moindres avaries annonçant que la stabilité d'un bâtiment est compromise; la prudence commande d'étaier sans délai pour empêcher que le mal puisse faire des progrès, dont le moindre inconvénient serait l'altération des formes de la bâtisse, qui pourrait entraîner dans des réparations très-dispendieuses.

Ce sont toujours les charpentiers qui sont appelés pour remédier au mal ou le prévenir, et de leur habileté dépend, le plus souvent, le succès des opérations par lesquelles l'étalement est un préliminaire indispensable et fréquemment très-urgent. Les étais sont de plusieurs espèces, suivant les cas où ils sont employés.

§ 1. *Arcs-boutants.*

Le nom d'arc-boutant (1) est donné, en architecture gothique, aux arcs en pierre extradossés en pente qui soutiennent extérieurement la poussée des voûtes des églises contre leurs murs. Par analogie, on a donné ce nom d'*arc-boutant* à toute pièce de bois, quoique droite, servant à *arc-bouter* une construction quelconque qu'il s'agit de soutenir dans une

(1) Arc-boutant est l'équivalent d'arc poussant, dans l'ancien langage.

position donnée. Les étalements par arcs-boutants sont employés surtout contre les murs qui menacent de s'écrouler.

La pièce *A*, fig. 12 de la planche CXXIII, est en élévation ou projection verticale, et en profil, fig. 13, un étau en arc-boutant, qui a pour objet de soutenir le mur de face de la maison représentée dans ces deux figures. Le haut de cet étau (1) porte par son about dans une entaille faite avec soin dans le mur; par le bas il repose sur une semelle *M* établie sur le sol. Si le terrain au niveau de la surface de ce sol n'a pas une résistance suffisante, il faut creuser pour trouver un fond assez ferme pour servir d'appui à l'étau, soit par l'effet de sa propre compacité, soit par l'étendue sur laquelle on pourra répartir la pression, en plaçant au-dessous de la semelle un nombre suffisant de chantiers qui la croisent à angles droits. Lorsqu'un mur à étayer est en fort mauvais état, non-seulement on multiplie les étais, comme celui *A*, mais on en place d'autres en dessous des premiers, comme celui *B*.

Si l'on craint quelque mouvement dans le sens perpendiculaire à la longueur du mur étaué, on maintient les lignes de milieu des principaux étais dans des plans verticaux par d'autres étais latéraux *D*, qui s'y assemblent à tenons et mortaises avec embrèvement et boulons par le haut, et qui portent par le bas sur un des chantiers *O* qui s'étendent sous la semelle *M*.

Pour que les étais soutiennent efficacement un mur, il faut qu'ils opèrent une forte pression dans les points où ils sont en contact avec lui, ce qu'on ne peut obtenir qu'en augmentant la roideur de leur pente, et par conséquent en rapprochant le plus possible le pied de chaque étau de celui du mur, ces étais ayant toutefois une longueur suffisante, afin que leur inclinaison, par rapport à l'horizon, ne soit pas moindre que 68°, pour qu'il ne faille pas un trop grand effort pour s'opposer au glissement de leurs pieds sur les semelles et que même le frottement puisse suffire pour empêcher ce glissement.

Pour roidir un étau, c'est-à-dire pour l'amener à une pression propre à soutenir un mur, il faut faire glisser lentement son pied sur la semelle. S'il s'agit de soutenir un mur en mauvais état, et dont la chute pourrait être subite, il faut bien se garder de frapper l'étau avec une masse de fer ou de bois, ce qui occasionnerait des secousses dangereuses, il faut le faire avancer par l'effort d'un levier et mieux par celui d'une longue pince en fer. Si plusieurs étais doivent concourir au soutien d'un mur, il faut les roidir ensemble et de la même quantité. Il faut faire attention de ne point dépasser la roideur nécessaire au soutien qu'on veut donner

(1) Étau, de *stava*, dans la basse latinité, de l'allemand *Stab*, pièce.

au mur, vu qu'on risquerait de le renverser du côté opposé à celui sur lequel il menace ruine.

Lorsqu'on était un mur qui est en bon état, pour des travaux en sous-œuvre, on n'a pas besoin de tant de précautions pour roidir les étais, on peut les frapper par le pied avec une masse, mais il faut cependant agir avec prudence, et l'emploi d'une pince de fer est préférable. Nous ne conseillons point de se servir de crics ni de vis pour roidir les étais, parce qu'on pourrait, par l'usage de ces machines, dépasser la roideur qu'il est nécessaire de leur donner.

Quoique les étais se maintiennent ordinairement à la roideur qu'on leur a donnée par le seul effet de leur frottement sur les semelles, il est prudent de prévenir tout glissement en plaçant une cale en forme de coin sous le bout inférieur de chaque étau pour assurer sa parfaite stabilité. Après que ces coins ont été serrés par quelques petits coups de marteau, on les fixe en les attachant sur les semelles par une couple de clous.

Lorsque les murs à étayer sont très-mauvais, on interpose quelquefois entre les abouts des étais et la maçonnerie des plateaux verticaux appliqués à plat contre les murs, et auxquels on les attache par de forts boulons qui les traversent, ainsi que des madriers appliqués intérieurement pour recevoir les écrous. Les étais s'y assemblent à embrèvements traversés par des boulons.

§ 2. *Chevalements.*

S'il s'agit de reprendre un mur en sous-œuvre, ou de faire quelques changements dans la combinaison des ouvertures percées dans ce mur, on le soutient par des chevalets. Si l'on doit, par exemple, substituer une large ouverture à deux ouvertures étroites d'un rez-de-chaussée, soit pour établir une boutique, soit pour percer une porte cochère, c'est par un chevalement que l'on soutient le mur dans lequel on veut pratiquer la nouvelle ouverture, et, dans ce cas, on préfère le chevalement à tout autre moyen, parce qu'il s'agit principalement d'empêcher le mur d'obéir à la pesanteur tout le temps nécessaire au remplacement de la maçonnerie qui le soutient par une nouvelle combinaison qui doit à son tour le soutenir.

Nous supposons, dans l'exemple que nous donnons d'un chevalement, que dans la façade d'une maison représentée en élévation, fig. 12, on veut substituer aux deux fenêtres du rez-de-chaussée, indiquées en lignes ponctuées, une grande ouverture dont la largeur doit être égale à la

somme des largeurs de ces deux fenêtres, plus celle du trumeau intermédiaire.

Avant de démolir la maçonnerie du trumeau du rez-de-chaussée, on établit le chevalement qui doit être composé de chevalets en nombre suffisant pour soutenir la charge des trumeaux supérieurs, lorsque la démolition du trumeau du rez-de-chaussée sera faite, et pendant tout le temps nécessaire pour l'exécution des constructions qui doivent le remplacer.

On commence donc par percer le mur de face dans les endroits jugés convenables, afin de passer les bouts de solives *a* devant former les corps des chevalets; leurs pieds *b* sont assemblés à entailles dans ces pièces, leurs extrémités inférieures sont reçues sur des semelles *c* ou couchis; elles sont taillées en chanfrein des deux côtés pour que l'on puisse roidir ces pieds et serrer ainsi les corps des chevalets contre la maçonnerie qu'il s'agit de soutenir. On roidit les pieds des chevalets en rapprochant leurs extrémités inférieures l'une de l'autre, on peut se servir de pinces de fer ou de marteaux, mais il faut avoir le plus grand soin que les quatre pieds de chaque chevalet soient égaux, qu'ils soient roidis également, afin que la pièce qui forme le corps demeure horizontale et qu'elle soit perpendiculaire au mur qu'elle doit soutenir. Des coins sont chassés et cloués sur les semelles ou couchis pour empêcher le glissement des pieds des chevalets, on observe qu'ils aient la même inclinaison que nous avons indiquée pour les étais; il faut, en outre, qu'ils aient par le haut une légère inclinaison vers le mur pour leur donner plus de stabilité. Si l'on craint quelque balancement dans le sens perpendiculaire au mur, il faut relier les pieds dans chaque chevalet par des croix de Saint-André, comme celle que nous avons figurée en lignes ponctuées, fig. 13.

Le chevalement étant déterminé, on démolit le trumeau du milieu et les bords des deux trumeaux latéraux, pour les remplacer par les pieds-droits *d* de la nouvelle ouverture, après quoi l'on pose le poitrail en bois *f*, qui doit la couvrir et soutenir le poids des trumeaux supérieurs. Ce poitrail doit être fortifié par les armatures les plus solides. Lorsqu'il est bien établi sur les nouveaux pieds-droits, on remplit l'intervalle *k* restant entre lui et l'ancienne maçonnerie par une maçonnerie nouvelle, dans laquelle il est prudent de comprendre un arc en décharge qui n'est point du ressort du charpentier, et dont nous ne parlons que parce qu'il doit en exiger la construction comme garantie de la complète résistance de son ouvrage. Lorsque l'ouverture dont nous venons de parler est faite pour l'établissement d'une boutique, il convient de soulager la portée du poitrail par des colonnettes en fer montant du

niveau du socle jusque sous ce poitrail; nous avons décrit l'usage de ces colonnettes en fer, page 276.

§ 3. Étrésillons.

Les étrésillons sont des pièces de bois qui servent à étayer des parties de maçonnerie les unes contre les autres, en les serrant fortement; on les emploie surtout pour remplir les ouvertures de la façade d'une maison lorsqu'il s'agit de l'étayer, soit à cause de sa vétusté, soit à cause de quelques travaux en sous-œuvre qu'on veut y entreprendre.

Un étrésillon (1) doit toujours être un peu plus long que la largeur du vide qu'il doit occuper, afin qu'on puisse opérer la pression, et que l'angle qu'il fait avec la partie pressée ne s'écarte point de la limite que nous avons fixée.

La figure 12, pl. CXXIII, présente l'étrésillonnement de deux fenêtres. indispensable dans le cas du travail en sous-œuvre que cette figure représente,

L'action des étrésillons doit toujours s'exercer entre deux pièces de bois servant à leur appui et au mouvement de glissement qu'on leur imprime pour opérer la pression.

Les étrésillons sont taillés en biseau par leurs extrémités, afin de porter par une arête sur les pièces entre lesquelles on les place, et pour qu'on puisse plus aisément les serrer; on emploie pour faire glisser les étrésillons des pinces en fer. On pose les étrésillons l'un après l'autre, et l'on n'en pose un que lorsque le précédent est en place et bien serré; lorsque le dernier est posé, s'il ne remplit pas complètement l'espace qu'il s'agit d'étrésillonner, on le fixe au moyen d'une cale qui occupe tout ce qui reste de cet espace et y est fortement serrée.

Lorsque les murs sont fort épais, on peut étrésillonner les fenêtres entre leurs tableaux, comme le représente la fig. 12 dans les fenêtres *m*, *n*, en même temps qu'on les étrésillonne de la même manière dans les ébrasements ou comme on l'a représenté dans les fenêtres *p*, *q*; on peut aussi étrésillonner en croix de Saint-André, comme dans la fenêtre *v*, et, dans ce cas, les abouts des croix sont serrés par des coins. Ce mode d'étrésillonnement demande plus de soin que les deux autres, mais il est le plus solide, en ce qu'il s'oppose à tout mouvement qui tendrait à altérer les angles droits des fenêtres.

(1) Le mot étrésillon vient du latin *strangere*, *serrer*, dont nous avons fait *étrécindre* et étrésillon, pièce qui serre.

§ 4. *Pointaux.*

Lorsque des planchers sont trop faibles pour supporter les fardeaux dont ils doivent être chargés momentanément, ou lorsque la vétusté du bâtiment fait craindre qu'ils s'effondrent sous leurs charges habituelles, ou enfin lorsque des travaux en sous-œuvre nécessitent des démolitions de murailles qui les laisseraient, du moins en partie, sans soutiens, on les étaie en dessous. Suivant le mode de leur construction, l'étalement se borne à un chevalement sous les poutres, ou bien il faut étayer les solives : ce dernier cas exige un plus grand nombre d'étais, à moins qu'on n'établisse une lambourde sous les solives.

Les figures 9 et 10, planche CXXIII, sont deux coupes perpendiculaires l'une à l'autre, qui représentent des étalements de planchers, dans lesquels on a employé des pointaux ou étais *a* presque verticaux, ou qui n'ont que l'inclinaison qu'il a été nécessaire de leur donner pour qu'on puisse les serrer de manière à soutenir les planchers supérieurs. Ces pointaux portent par le bas sur des semelles ou couchis *b*, et par le haut ils pressent les lambourdes *d* contre les plafonds pour soutenir des solives.

Les deux extrémités des pointaux sont taillées en biseau, pour qu'ils portent sur une arête, et que l'effort auquel ils doivent résister soit dirigé suivant leur ligne de milieu, afin d'éviter les éclats qui résulteraient des pressions exercées sur leurs angles.

S'il s'agit de soutenir une poutre qui porte les solives d'un plancher, on l'étaie avec des pointaux et mieux par des jambettes, comme on soutient la solive qui forme le corps d'un des chevalets de la figure 12; et s'il faut soutenir une poutre qui fléchit et menace de se rompre, on place en dessous d'elle, et dans le sens de sa longueur, une lambourde portée sur un nombre suffisant de pointaux et de préférence sur des jambettes pour en faire un solide chevalet.

§ 5. *Étalements des voûtes.*

Pour étayer une voûte, soit qu'il s'agisse de prévenir sa chute, soit qu'on veuille la réparer ou la démolir, il faut replacer en dessous des cintres pareils à ceux qui ont servi à la construire, de façon que, ses parois étant pressées par les couchis et soutenues de toutes parts sur des cales et des coins, on puisse en enlever telle partie qu'on voudra, sans qu'il résulte de mouvement dans le reste de son développement. Nous renvoyons, en conséquence, au chapitre XLI, relatif aux cintres des voûtes, pour l'étude des

formes générales qui conviennent aux étaitements des voûtes. Nous ne pouvons cependant nous dispenser de faire mention ici d'un système particulier d'étalement de voûtes, exécuté au Panthéon, à Paris, et nous faisons de sa description, d'après Rondelet qui l'a inventé, l'objet de l'article suivant.

§ 6. *Étalement pour la restauration des piliers du dôme du Panthéon, à Paris.*

Ce n'est point ici le lieu de discuter les causes auxquelles on avait attribué les dégradations survenues aux piliers qui soutiennent le dôme du Panthéon (1) ni les moyens de restauration et de consolidation qu'on dût adopter; il suffit de dire que ces dégradations étaient devenues assez graves pour inspirer des craintes sur la solidité de ce grand monument, et que plusieurs personnes regardaient sa conservation comme douteuse.

Cependant, quelle que fût la cause de ces dégradations, il était urgent d'en prévenir la désastreuse conséquence. Dès 1798, les étaitements du dôme ont été entrepris, ils furent achevés en 1800; mais les travaux de restauration ne purent être commencés qu'en 1806, et pendant cet intervalle de temps les progrès des dégradations si alarmants et si rapides auparavant, devinrent insensibles et parurent s'arrêter; on eut alors la certitude de conserver intégralement, ainsi que Rondelet l'avait annoncé, un des plus beaux édifices des temps modernes.

Rondelet, qui a succédé à Soufflot comme architecte du monument, et qui a conçu et exécuté cette importante restauration avec une grande habileté, avait combiné la maçonnerie avec le bois dans la composition de ce remarquable étalement. La charpenterie a le plus puissamment contribué au succès de cette belle entreprise.

Nous donnons, d'après la planche CXXX de l'*Art de bâtir*, en *A*, fig. 8 de notre planche CXXVI, et réduits à la même échelle que toutes les figures de cette planche, le plan d'une moitié de l'un des quatre piliers du dôme du Panthéon avant sa restauration, et en *B*, même figure, le plan de l'autre moitié du même pilier après la restauration. Sur l'une et l'autre partie de cette même fig. 8, nous avons tracé le plan de l'étalement de chaque arc contigu au pilier *A B*.

(1) Ce monument, qui porte le nom de Panthéon depuis le décret du 4 avril 1794, avait été bâti, par l'architecte Soufflot, pour servir d'église, sous l'invocation de sainte Geneviève, patronne de Paris.

La figure 6 est une coupe de la partie inférieure du dôme, suivant une ligne xy du plan, fig. 8; elle montre la projection verticale de la moitié de l'étalement du pilier et de l'arcade projetée horizontalement de A en D , et la coupe de l'arcade et des étais projetés de B en C .

Un cintre en charpente composé de bois isolés dans leurs longueurs, eût été insuffisant pour soutenir un aussi grand fardeau que le dôme.

C'est après avoir longuement médité sur cette grave question, dit Rondelet (tome III, page 73), qu'il s'est décidé à former les cintres et leurs pieds-droits de pièces jointives, reliées par des moises et des boulons.

Dans chaque arcade étaient deux cintres composés chacun de trois épaisseurs de bois. Dans chaque épaisseur les bois étaient jointifs et formaient des polygones concentriques; mais dans l'épaisseur du milieu de chaque cintre, les angles des polygones répondaient aux côtés des polygones des deux autres épaisseurs, de façon que les joints se trouvaient reliés par l'effet des croisements des pièces. Les pieds-droits qui soutenaient les cintres étaient composés chacun, comme le dessin l'indique, de douze pièces verticales jointives. Ils avaient 16^m,567 de hauteur, depuis le massif de pierres de taille, élevé pour leur servir de socle, jusqu'à la naissance des cintres.

Notre dessin, fig. 6, faute de place, ne représente pas la totalité de cette hauteur.

Les pieds-droits étaient maintenus par six rangs de moises m , m , et six enrayures ou ponts E , E . Les piliers de l'étalement étaient placés à 0^m,84 de ceux du dôme, afin qu'on pût travailler à la restauration de ceux-ci; cet intervalle marqué X était rempli d'une construction composée de maçonnerie et de contre-fiches en bois, afin qu'on pût aisément la supprimer par en bas, à mesure que les travaux de restauration s'élevaient, sans que le haut pût descendre.

Ces contre-fiches étaient retenues par des crans ou embrèvements dans les dernières pièces des piliers en bois. Ces crans ne sont pas marqués sur le dessin, à cause de la petitesse de l'échelle.

Au-dessus du cintre, le vide exactement était rempli de moellons piqués, maçonnés en plâtre.

En dedans des pieds-droits en bois, et sous les cintres en bois, on avait construit en maçonnerie avec arêtes et parements intérieurs en pierres de taille, des seconds pieds-droits qui supportaient une arche en pierres de taille avec remplissage, jusqu'au bois, de moellons maçonnés en plâtre.

Le plâtre a été employé dans cet étalement afin de profiter de sa propriété de gonfler lorsqu'il se solidifie, pour serrer la charpente et la maçonnerie l'une contre l'autre, sans effort étranger. Rondelet a pensé

qu'un étaieement tout en charpente aurait pu se *restreindre* plus qu'il n'aurait fallu pendant la restauration, et qu'un étaieement tout en pierre aurait pris du tassement sous le poids du dôme, avant le rapprochement des anciennes et des nouvelles constructions; enfin, il aurait été difficile d'ôter les cintres et d'éviter les effets qui seraient résultés de leur suppression. Le poids du fardeau aurait été transmis subitement sur les nouvelles maçonneries, au lieu que la compression dont le bois est susceptible devait, après la démolition des cintres en maçonnerie, opérer la transmission avec lenteur, sans ébranlements ni secousses.

La force de ces cintres avait été calculée pour résister ensemble à une pression de 10 millions de kilogr., le plus qu'il fût possible de supposer.

Après l'achèvement des travaux de restauration, les étais ont été enlevés sans qu'il se soit manifesté aucun effort dans les constructions nouvelles. Une épreuve d'un demi-siècle est un témoignage authentique du succès le plus complet de cette grande et belle opération.

§ 7. *Étaieement pour travaux de déblais.*

Lorsque l'on fait des déblais qui doivent avoir une grande profondeur, et qu'on ne peut les faire sous les talus suivant lesquels les terres se soutiennent naturellement, soit à cause de la dépense, soit parce qu'on manque d'espace, on creuse les déblais entre des plans verticaux, et comme les parois de la plupart des espèces de terre ne pourraient pas se soutenir ainsi coupées à pic, on les étaie avec des bois. Lorsque la tranchée faite dans le terrain est étroite, on se sert d'étrésillons qui appuient d'une paroi à l'autre les montants verticaux que l'on applique contre les terres. A mesure que les déblais deviennent plus profonds, on ajoute de nouveaux montants et de nouveaux étrésillons; on doit même faire en sorte de substituer aux premiers montants des bois plus longs qui s'étendent du sol au fond des déblais.

Lorsque le terrain est de mauvaise qualité, on multiplie les montants et les étrésillons sans cependant que leur nombre puisse empêcher le travail des terrassiers chargés d'approfondir le déblai, ou celui des ouvriers chargés des travaux à exécuter au fond des excavations. Souvent, dans cette vue, c'est-à-dire pour débarrasser la tranchée des trop nombreux étrésillons qui l'obstrueraient, on en boise les parois en les garnissant de planches appliquées horizontalement contre les terres sous les montants verticaux qui les retiennent.

Les déblais peuvent être ouverts sur des largeurs trop grandes pour

que l'on puisse étré sillonner leurs parois, quelque longs que soient les bois dont on peut disposer, on étaie alors les terres comme on étaie des murs, si ce n'est que l'on incline les étais à 45°, en assemblant leurs pieds dans des semelles retenues par des pieux ou contre-boutées sur les parois opposées.

Lorsque les déblais à ciel ouvert (1) deviennent trop dispendieux à cause de leur profondeur, et que les travaux à exécuter dans le fond ne doivent occuper qu'une partie de cette profondeur, les déblais, qui doivent alors se borner à préparer la place que les constructions occuperont, sont faits souterrainement.

Les travaux de charpenterie appliqués aux déblais souterrains font partie du chapitre XLIV.

(1) Dans une galerie souterraine, on donne le nom de ciel à sa partie supérieure; de là vient que lorsqu'un déblai ou galerie est fait depuis le sol, on dit que son ciel est ouvert ou que le déblai est fait à ciel ouvert.

CHAPITRE XXXVII.

ÉCHAFAUDS.

Un échafaud (1) est une construction provisoire en bois, qui a pour objet d'élever les ouvriers à la hauteur des travaux qu'ils exécutent, de placer à leur portée les matériaux qu'ils mettent en œuvre, de recevoir les équipages et agrès nécessaires à ces travaux, et quelquefois de faciliter l'exécution des constructions en présentant momentanément des points d'appui et des soutiens aux parties imparfaites, en attendant leur complet achèvement.

Les principes qui guident dans la construction des échafauds, servent également pour l'érection des amphithéâtres que l'on construit dans les fêtes et cérémonies publiques.

Les échafauds, notamment ceux employés dans les bâtisses, sont de plusieurs sortes; ils peuvent être fixes ou volants.

I.

ÉCHAFAUD DE MAÇON.

Les échafaudages les plus simples sont ceux exécutés par les maçons, pour la bâtisse des murs ordinaires; ils sont composés d'une suite de longues perches appelées *boulines*, placées verticalement à peu de distance dans les murs, servant à soutenir d'autres boulines horizontaux, sur lesquels on établit les planches qui portent les ouvriers et les matériaux pendant le travail. Ces boulines horizontaux sont attachés d'un bout par des liens en corde aux boulines verticales, et sont scellés de l'autre bout dans les murs.

Les trous dans lesquels sont fixés les boulines horizontaux sont nommés *boulines* à cause de leur ressemblance avec ceux dans lesquels nichent les pigeons, et l'on a, par extension, donné le même nom aux perches

(1) De l'allemand *schaffen*, créer, bâtir.

servant à la composition des grêles échafauds dont les maçons font usage, et qui leur suffisent tant qu'ils ne doivent approvisionner sur leurs planchers qu'une petite quantité de matériaux. Mais dès que les échafauds doivent recevoir de lourds fardeaux, comme des pierres de taille et un grand nombre de maçons, ou que l'on ne peut pas placer les *boulines* horizontaux dans les parements des murs, il faut recourir aux échafauds en charpente.

La figure 1, de la planche CXXIII, est le profil d'un échafaud de boulines.

Cette figure représente, en outre, une disposition qui a pour objet de soutenir les échafauds pour réparations aux façades des maisons à la hauteur du premier étage, afin de ne point obstruer la voie publique (1).

a et *b* sont les boulines, *c* est une des poutrelles horizontales qui traversent le mur; elles sont calées à l'intérieur sous les planchers et soutenues chacune par un poutrel, que, faute d'espace, le dessin n'indique pas.

d est une lambourde parallèle au mur, elle porte sur des poutrelles espacées de 4 mètres environ, suivant la distribution des maçonneries de la façade; les boulines posent par leurs pieds sur cette lambourde de 2 en 2 mètres environ, et y sont fixés chacun par un petit massif de maçonnerie en plâtre. À défaut de cette maçonnerie, on peut les assembler à tenons dans la lambourde.

e, planches volantes, *f* planches fixes et jointives avec garde-corps *g*, pour arrêter la chute des matériaux sur les passants.

Le sieur Journet, entrepreneur de charpentes, est inventeur d'un *échafaud-machine* dont l'usage principal est de servir aux travaux qu'on peut avoir à exécuter sur les murs et façades des maisons; il a pris, à dater du 1^{er} novembre 1833, un brevet de quinze ans, pour l'exploitation de son invention, par une société en commandite. Il se propose de publier la description de cet échafaud et de diverses modifications qu'il y a faites pour le rendre applicable aux différents cas que présentent toutes espèces de travaux extérieurs et intérieurs, même ceux de peinture et de sculpture, ce qui nous empêche d'en donner un dessin. Il suffit de dire que le but que s'est proposé le sieur Journet est de porter des ouvriers maçons ou autres devant tous les points d'un édifice, sans recourir à l'embaras des échafaudages ordinaires et sans obstruer la voie publique.

Il a obtenu ce résultat en appliquant le principe qu'un *point* peut prendre dans un plan telle position qu'on voudra, si on le fait mouvoir le long d'une ligne droite, et si l'on fait aussi mouvoir cette ligne droite

(1) Extrait de l'ouvrage périodique *la Propriété*, 2^e année, 2^e série, t. I, p. 307, pl. XIII.

parallèlement à elle-même, de façon qu'un second point de cette ligne ne quitte pas une autre ligne perpendiculaire à la première. Dans l'échafaud de M. Journet, un plancher entouré d'un garde-corps et formant balcon, porte les ouvriers; ce balcon peut être amené devant telle partie qu'on veut de la surface du mur, en le faisant mouvoir comme le point dont nous venons de parler : il monte ou descend suivant le besoin, le long d'une pièce de bois verticale fixée à un chariot qui peut parcourir la longueur d'une pièce de bois horizontale, attachée à la partie la plus élevée du mur auquel il s'agit de travailler, et pour le temps que doit durer le travail; des treuils, des poulies et des roulettes facilitent le transport vertical et horizontal du plancher.

II.

ÉCHAFAUDS FIXES.

Lorsque les constructions nécessitent que les échafauds supportent des matériaux pesants, ou un grand nombre d'ouvriers et les machines au moyen desquelles on monte les matériaux, on est forcé de les construire en charpente; ils sont alors de véritables bâtisses en bois, auxquelles on donne la stabilité qui leur est nécessaire, en appliquant à la construction de leurs pans de charpentes les principes que nous avons développés en parlant de la construction des maisons. On les compose de montants et de sablières qui portent les soliveaux pour former les planchers sur lesquels sont placés les ouvriers et les matériaux; les montants et sablières sont liés par des contre-fiches et des croix de Saint-André, et quelquefois par de grandes moises inclinées pour former des contrevents. On doit observer cependant que les échafaudages ne devant point présenter des parois pleines, ni avoir une durée aussi longue que celle des maisons d'habitation, on ne les compose que du nombre de pièces strictement nécessaires à leur soutien et on ne leur donne que la force que réclament les efforts auxquels ils ont à résister. Le plus ordinairement on construit les échafauds en bois de sapin ou autres bois de peu de valeur, et qui ont déjà servi, pourvu qu'ils ne soient pas trop affaiblis par d'anciennes entailles ou des mortaises.

§ 1. *Échafauds de Saint-Gervais.*

La figure 1 de la planche CXXIV est l'élévation de la moitié de l'échafaud élevé par M. Dabrin, maître charpentier, devant le portail de Saint-Gervais, à Paris, lors de sa restauration.

La figure 2 est un profil de cet échafaud lié au portail par divers scellements en fer que la petitesse du dessin n'a pas permis de représenter.

Cet échafaud est le type de presque tous ceux qu'on a construits, non-seulement en pareilles circonstances, mais même pour de grandes bâtisses neuves; et dans ce cas, ces sortes d'échafauds sont composés de parties presque égales établies les unes en dehors, les autres en dedans des bâtiments : elles sont liées par des liernes qui leur sont communes et qui traversent les différentes ouvertures que présente l'ordonnance des façades ou même des trous ménagés pendant la construction. Ces trous sont bouchés par des *closoirs* en pierre lorsqu'on enlève les échafauds.

§ 2. *Échafaud de la flèche de la cathédrale de Châlons.*

La figure 11, pl. CXXIII, est une projection verticale de l'échafaud dressé autour de la flèche octogonale de la cathédrale de Châlons-sur-Marne, lors de sa restauration.

La figure 7, même planche, est un quart du plan de cette flèche et de l'échafaud, pris à la hauteur de la première enrayure.

Lorsque les ouvertures de la flèche ont permis de faire traverser les bois, on a eu soin de lier entre elles, par des liernes, les parties opposées des enrayures.

§ 3. *Échafaulage du Panthéon, à Paris.*

Les figures 2 et 3, pl. 126, sont des moitiés de coupes du dôme du Panthéon de Paris, dont nous avons déjà parlé, sur lesquelles sont tracés, d'après les planches CXXIV et CXXV de l'*Art de bâtir* par Rondelet, les échafauds qui ont servi à la construction de ce beau monument. Ces échafauds devaient porter les ouvriers et les matériaux, et tenir lieu de cintres pendant la construction des voûtes. Les parois des deux voûtes sont des surfaces de révolution qui ont pour axe commun celui du dôme; elles ont été appareillées par anneaux ou couronnes; ce qui fait que les échafauds n'ont jamais eu à soutenir que les portions d'une couronne que l'on posait jusqu'à ce que tous ses voussoirs fussent posés, attendu que lorsque cette couronne était entièrement fermée, il n'y avait plus besoin de cintres; elle se soutenait d'elle-même sur la précédente.

La figure 2 est une coupe du dôme par un plan vertical, passant par son axe vertical et par celui horizontal d'une des nefs.

La fig. 3 est une autre coupe par un plan vertical, passant aussi par l'axe du dôme et dirigé diagonalement dans l'angle que forment les axes de deux nefs.

La figure 4 est le plan ou la projection du plancher du grand échafaud, à la hauteur $m n$ de la figure 3.

La figure 5 est le complément de la figure 4, pour laquelle il n'y avait point assez d'espace sur la planche. Le point c , sur ces deux figures, est la projection de l'axe vertical du dôme; le raccordement des fig. 4 et 5 est aisé à reconnaître, au moyen des parties communes en maçonnerie qui sont tracées sur l'une et sur l'autre; les parties de maçonnerie qui sont hachées en tailles croisés sont celles qui s'élèvent au-dessus du niveau du plancher que ces deux figures représentent : celles qui sont remplies de hachures pâles indiquent les parties des maçonneries inférieures à l'échafaud. Z est un des murs latéraux d'une nef, le carré $v u x y$ laissé à jour dans le plancher et sur lequel on établit, fig. 5, la roue à treuil z , dite singe, répond verticalement à l'espace extérieur qui se trouve dans l'angle formé par deux nefs contiguës. Cette place a été choisie dans les quatre angles rentrants de l'édifice, pour que l'on pût enlever les matériaux depuis le sol extérieur.

Le plancher, à la hauteur $m n$ qui entourait le dôme, était élevé au-dessus du sol intérieur du monument, de 40 mètres, sa superficie était de 2864^m,325; dans le dessin, nous avons supposé qu'aucune planche n'est posée, afin de ne point cacher la disposition des pièces de la charpente.

La figure 7 est le complément de la figure 3. La pièce coupée k et la pièce horizontale $i j$ sont les parties de raccordement des deux figures. On voit que, voulant faire enlever les matériaux par le singe z depuis le sol, il a fallu écarter beaucoup l'échafaud pour atteindre les angles rentrants dont nous avons parlé; on n'a pu lui donner un point d'appui sur la maçonnerie qu'en S , fig. 7, ce qui a forcé de soutenir la partie qui porte le singe z par un pendentif r , au moyen de grandes écharpes.

Ce plancher se combinait avec celui de l'échafaud au même niveau, placé dans l'intérieur du dôme, et pour que la liaison fût plus complète quelques pièces horizontales traversaient les murs dans des trous réservés à cet effet, lorsqu'il ne s'est pas trouvé d'ouvertures de fenêtres pour leur livrer passage.

Cette partie inférieure de l'échafaud était formée par quatre fermes qui se croisaient et laissaient un vide carré dont on voit le quart en $f g h$, fig. 5, et sur lequel est établi le singe t , fig. 2.

La figure 1 est une coupe horizontale du dôme à la hauteur $p q$ des fermes qui le soutiennent.

III.

ÉCHAFAUDS VOLANTS.

On désigne sous le nom d'échafauds volants ceux qu'on démonte en tout ou en partie pour les changer de place suivant les besoins et l'avancement des travaux pour lesquels ils sont établis. Afin d'éviter un échafaudage général qui serait trop dispendieux.

§ 1. *Échafaud volant du dôme de Saint-Pierre de Rome.*

L'échafaud volant le plus remarquable est celui de la coupole de Saint-Pierre de Rome, inventé pour la restauration intérieure de cette coupole, en 1773, par Pierre Albertini, chef des ouvriers de la fabrique de Saint-Pierre.

La figure 3 de la pl. CXXVII est la moitié d'une coupe verticale de la voûte intérieure du dôme sur laquelle est tracé l'échafaud dont il s'agit.

La figure 1 complète la partie supérieure de cette coupe, et fait voir comment l'échafaud était fixé à la lanterne du dôme. Le plancher *a b* est commun à la figure 1 et à la figure 3.

La figure 2 est le complément de la partie inférieure de la figure 3; le plancher *c d*, reposant sur la corniche intérieure du dôme, est commun à la fig. 2 et à la fig. 3.

Le diamètre intérieur de la coupole est de 40^m,60, le rayon de l'arc qui forme le profil est de 24^m,90; son centre est dans le plan du dessus de l'attique.

La hauteur de l'ouverture circulaire servant de base à la lanterne est de 24^m,12 au-dessus du même plan.

L'échafaud dont il s'agit était composé de trois fermes dirigées suivant les méridiens du dôme, et attachées par des anneaux ou boucles en fer accrochés à des crampons aussi en fer scellés dans les parois de la coupole. Les pièces horizontales de ces fermes portaient les poutrelles des planchers réparties sur la hauteur de la voûte de façon que les ouvriers pouvaient être placés commodément dans leur travail.

Pour faire avancer l'échafaud volant suivant les besoins du travail, et à mesure qu'une partie de la restauration était terminée, on démontait une ferme d'un bout pour la remonter à l'autre bout en s'aidant pour cette opération des fermes restées à leur place en attendant que leur tour de changer de situation fût venu.

La projection verticale que nous donnons de cet échafaud est construite d'après une vue en perspective gravée par Giacomo san Germano à la Chalcographie pontificale. Quoique cette gravure soit d'une époque de beaucoup postérieure, elle se trouve ordinairement jointe à l'œuvre de Zabaglia et de Fontana (*Roma*, 1743).

Zabaglia décrit, dans l'ouvrage que je viens de citer, une autre disposition d'échafaud volant également pour la restauration d'une coupole.

Nous en avons figuré une partie en profil, sous le n° 6 de la même planche CXXVII. Ce système est plus simple que celui du P. Albertini, et son changement de place est plus facile.

Chaque étage est composé de trois chaises égales, de façon qu'on peut aisément, pour chaque étage, à l'aide de deux chaises qu'on laisse en place, faire passer la troisième d'un côté à l'autre de l'échafaud, et faire ainsi le tour de la coupole. Dès qu'un premier plancher est posé, on peut atteindre aux points où des scellements sont nécessaires pour en attacher un nouveau qui donne le moyen d'en établir un troisième, et ainsi de suite jusqu'au sommet de la coupole.

§ 2. *Échafauds volants pour de petites voûtes.*

Le même ouvrage de Zabaglia contient les dessins de plusieurs combinaisons d'échafauds volants, et l'on peut dire que les ouvriers italiens sont aussi habiles qu'audacieux dans les moyens qu'ils emploient pour atteindre à tous les points tant intérieurs qu'extérieurs des édifices.

Ils établissent des échafauds sur des chevalets élevés les uns au-dessus des autres, et souvent sur de frêles appuis. Parmi plusieurs combinaisons, nous avons choisi celle qui est représentée fig. 5, pl. CXXVII, dans laquelle les planchers de l'échafaud sont portés sur des sablières soutenues seulement par des aiguilles pendantes à la voûte au moyen de scellements en fer. Cet échafaud est composé de trois systèmes pareils; on les change de place, ou plutôt on les fait avancer dans la direction de l'axe de la voûte, qui est ici en berceau, par le même moyen que les précédents.

§ 3. *Échafaud volant pour la charpente du hangar de Marac.*

La figure 8 de la planche CXXV est une coupe, suivant la ligne *t v* de la figure 7, de l'échafaud en bois de pin des landes de Bordeaux qui a servi au levage des dix-huit fermes en madriers courbés sur leur plat du comble du hangar de Marac, près Bayonne, que j'ai construit en 1825, et que j'ai décrit ci-dessus, page 197.

La figure 7 est une coupe de l'échafaud par un plan vertical perpendiculaire au plan de projection de la fig. 8.

La partie cintrée ou gabariée *a* recevait les madriers courbés sur leur plat formant un arc pour les maintenir pendant le levage des autres pièces des fermes qui avaient été assemblées avec les arcs sur un ételon horizontal, et démontées pour être levées pièce à pièce au moyen de cet échafaud. J'ai fait connaître, page 202, ce qui m'a forcé de procéder de cette manière, au lieu de lever les fermes toutes assemblées, comme je l'ai fait faire plus tard, pour le manège de Libourne.

L'échafaud, composé de pièces jointes par entailles sans aucun tenon ni mortaises, était entièrement démonté lorsqu'une ferme du comble était en place pour être remontée à l'emplacement d'une autre ferme. L'échafaud était formé de deux pans verticaux parallèles égaux à celui que représente la figure 8; les deux pans étaient liés par des croix de Saint-André entre les grands montants *b* et par des pannes *g*, sur les milieux desquelles le gabarit était attaché par des boulons. La stabilité dans le plan de chaque pan était maintenue par une grande croix de Saint-André et les grandes écharpes *n*; dans le sens de la longueur du hangar, des croix de Saint-André *r* entre les montants et des arc-boutants *k*, établies dans les prolongements de leurs branches, empêchaient le balancement, conjointement avec quatre haubans fortement tendus par des palans que le dessin ne représente pas.

Cet échafaud était établi au niveau des sablières qui devaient recevoir les naissances des arcs; il était porté sur quatre chevalets *x* qu'on changeait de position lorsque l'échafaud était démonté, et qu'il s'agissait de l'établir à une autre place.

Les longues sablières horizontales *t* de l'échafaud servaient à porter des planches *i* dans tous les points où les charpentiers devaient se placer pendant le levage, et pour serrer les boulons.

IV.

ÉCHAFAUDS SUSPENDUS.

§ 1. *Échafauds pour ragrément de ponts.*

La figure 4, pl. CXXIII, est le profil d'un échafaud suspendu au parapet du pont d'Orléans, lors du ragrément du parement de ses têtes. Les madriers d'échafaud sur lesquels est placé le tailleur de pierre ragréur

sont fixés par chacune de leurs extrémités sur deux forts tasseaux *a* moisés sur un montant *b* dont le prolongement supérieur traverse deux moises *c, d*, entre lesquelles il peut glisser. Un cordage s'y trouve attaché au point *e* par un gros nœud qui le termine. Ce cordage, après avoir passé sur deux poulies *m, n*, s'enroule sur le treuil *f* par le moyen duquel le montant *b* est haussé ou abaissé suivant le besoin, pour mettre l'ouvrier à portée de son travail. L'échafaud est composé de deux systèmes pareils liés par des traverses horizontales, et maintenus verticaux par des jambettes *g*.

La figure 4 est une projection perpendiculaire à la précédente; elle présente à droite l'échafaud, vu par le dehors du pont sur le parement de tête d'une arche; sur la gauche, il est vu dans la supposition d'une coupe longitudinale du pont, vue du côté opposé; une ligne d'arrachement marque la séparation de ces deux projections.

En faisant mouvoir simultanément les deux montants *b*, on maintient le madrier d'échafaud *a* horizontal. On le fixe à la hauteur convenable par deux chevilles de fer qui traversent les montants, et reposent sur les moises *c, d*.

Cet échafaud est tiré de la planche XXXIX des Œuvres de Perronet.

§ 2. *Échafaud pour entablement.*

L'échafaud représenté en profil, fig. 7 de la planche CXXVII, est tiré de l'ouvrage de Zabaglia, déjà cité; il a pour objet de porter des ouvriers lorsqu'on décore, en diverses occasions, la basilique du Vatican; il est également propre à toute espèce de travaux à exécuter sur un entablement. Il est composé de deux assemblages pareils qui portent le plancher *a b*. Cet échafaud peut être transporté à telle place que le travail exige, le long de l'entablement où il est fixé au moyen des vis *d*.

Nous donnons la figure 4, même planche CXXXII, et d'après Zabaglia, comme un exemple de la hardiesse avec laquelle les ouvriers se hasardent souvent sur des échafauds suspendus.

§ 3. *Échafaud pour ateliers de décorations.*

L'échafaud représenté, fig. 3 de la planche CXXIV, avait été construit dans une grande salle du collège des Quatre-Nations, à Paris, par M. Peyre jeune, architecte, pour peindre des décorations. Cette figure présente en même temps la coupe et l'élévation de cet échafaud, qui était suspendu aux pièces de la charpente du comble, et qui faisait le tour de l'atelier, les quatre côtés étant pareils à celui que représente la figure.

V.

ÉCHAFAUDS ROULANTS.

§ 1. *Échafaud de la nef de Saint-Pierre de Rome.*

L'objet des échafauds roulants est de remplacer les échafauds volants, pour éviter le travail dispendieux pour les démonter et les remonter lorsqu'on veut les changer de place. Le plus grand échafaud de cette sorte qui ait été exécuté est celui qui a servi, en 1773, à la restauration de la voûte qui s'étend sur la grande nef de Saint-Pierre de Rome.

Cet échafaud est comme celui de la coupole que nous avons décrit, page 353, de la composition d'Albertini.

Nous l'avons représenté en élévation dans la coupe en travers de la grande nef, fig. 8 de la planche CXXVII, et nous l'avons projeté verticalement, fig. 12, coupé par un plan passant par l'axe de la grande nef, et suivant la ligne xy de la figure 8; dans le haut de cette figure 12, en M , nous avons marqué la coupe de la voûte suivant sa longueur, mais nous n'avons point tracé la projection des magnifiques caissons qui décorent cette voûte, parce qu'ils sont étrangers à notre sujet, et qu'ils auraient rendu le dessin trop confus.

Nous avons construit les projections verticales, fig. 8 et 12, d'après trois vues perspectives gravées comme celles dont nous avons déjà parlé, par Giacomo san Germano, et qui ont été publiées en même temps, et font partie de la même collection.

L'échafaud était composé de deux grandes fermes formant des cintres d'assemblages. Ces deux fermes étaient réunies par des liernes horizontales; des solives horizontales portaient les poutrelles des planchers aux différentes hauteurs nécessaires pour que les ouvriers pussent atteindre les points où ils devaient travailler.

Cet échafaud, mobile dans le sens de la longueur de la nef, était porté de chaque côté par un échafaud volant, attaché aux murs par des pattes en fer et à scellements, et soutenu dans sa grande saillie par des arcs-boutants portant sur des architraves de l'entablement qui règne des deux côtés sur toute la longueur de la nef.

Quoique nous classions cet échafaud au nombre des échafauds roulants, il n'était point porté sur des rouleaux, mais sur des espèces de patins arrondis qui en tenaient lieu en facilitant le glissement sur les planches des deux échafauds volants.

Pour mouvoir ce gigantesque échafaud, les ouvriers agissaient de chaque côté simultanément et également sur des palans, comme nous en avons représenté, fig. 12.

L'échafaud mobile avait été assemblé sur le pavé de la nef, et hissé en grand au moyen de mouffles et de cabestans, puis soutenu près de la voûte de la nef pendant qu'on montait au-dessous les parties d'échafauds volants qui devaient le recevoir, et entre lesquelles il n'aurait pas pu passer.

Nous avons représenté cette opération, sur une très-petite échelle, dans la figure 10, qui est une coupe générale de la nef de Saint-Pierre de Rome. Le contour de cette coupe est bordé de hachures en tailles pleines. Nous avons projeté, sur le même plan, même figure 10, la coupe du sanctuaire et de sa coupole, dont les contours sont bordés de hachures ponctuées.

Le diamètre de l'échafaud était plus grand que l'écartement des deux corniches au-dessus desquelles il devait être placé; on a élevé une naissance plus que l'autre, afin de pouvoir pousser l'échafaud tout d'un côté pour éviter la rencontre de l'autre naissance avec la corniche correspondante au-dessus de laquelle il devait être élevé; c'est dans cette situation qu'il est représenté, fig. 10.

§ 2. *Échafauds roulants de l'orangerie de Versailles.*

Après le gigantesque ouvrage que nous venons de faire connaître, les petits échafauds roulants dont nous allons parler sont des œuvres bien minimales; cependant ils ont leur utilité, c'est ce qui nous a déterminé à les décrire.

La figure 15, pl. CXXIV, est un profil de l'échafaud roulant, en bois de sapin, qui a servi au rejointement et aux réparations des parois intérieures de l'orangerie du château de Versailles.

La figure 16 est une élévation projetée sur un plan vertical perpendiculaire à celui de la figure 14. Cet échafaud peut être roulé dans toutes les parties des longues salles de cette belle orangerie.

§ 2. *Échafaud roulant de la chapelle de Turin.*

La figure 13, pl. CXXIV, est une coupe d'une chapelle sépulcrale construite à Turin, en Piémont, sur laquelle on a projeté le profil de l'échafaud roulant, exécuté en bois de sapin, et qui a servi pour la sculpture des caissons qui décorent la voûte de cette chapelle. La figure 14 est le plan de cet échafaud qui était porté sur quatre roues, et que l'on pouvait mouvoir d'un bout à l'autre de la chapelle.

§ 4. *Échafaud pour construction d'un comble suivant le système de Philibert Delorme.*

La fig. 11, pl. CXXIV, est le profil d'un comble suivant le système de Philibert Delorme, sur lequel nous avons tracé le profil d'un échafaud en planches composé par M. Mandar, architecte, pour faciliter aux ouvriers la construction de ce comble.

L'échafaud est composé de trois fermes en planches pareilles à celles que le dessin représente; elles sont écartées d'environ 2 mètres; elles sont liées par des liernes, et le balancement est empêché par une croix de Saint-André placée dans le sens du faitage; on en voit les bouts et ses épaisseurs sur le poinçon.

Cet échafaud, fort léger, est porté sur quatre galets en cuivre qui roulent dans des rainures entaillées sur les faces supérieures des deux sablières portées le long des murs par des consoles en fer à doubles scellements qui sont posées pour le temps du travail.

Par le moyen de cet échafaud, on peut soutenir les planches des hémicycles pendant le levage, terminer la charpente complètement par un bout, et conduire l'échafaud dans le sens de la longueur du comble, de façon à le faire avancer graduellement à mesure que des hémicycles et leurs liernes sont posées.

Les figures 10 et 12 sont deux projections, sur une échelle quadruple, des galets servant de roulettes à l'échafaud.

Cet échafaud et les deux précédents sont tirés du Recueil de Krafft. Nous devons faire remarquer que ceux représentés par les figures 9 et 12 sont des imitations des combinaisons qu'on trouve dans l'ouvrage de Zabaglia, qui contient une quantité assez considérable de dessins de diverses sortes d'échafauds.

§ 5. *Échafaud roulant de Saint-Sulpice.*

Les figures 8 et 9, pl. CXXIV, sont les projections verticales d'un échafaud roulant qui a servi pour attacher des draperies dans l'église Saint-Sulpice à Paris, pour les obsèques du général Hoche, en 1797.

§ 6. *Échafaud roulant de la cathédrale de Milan.*

Les figures 17 et 18, pl. CXXIV, représentent par deux projections verti-

cales, un grand échafaud roulant qui sert pour la décoration intérieure de la cathédrale de Milan. Ces deux échafauds sont tirés du Recueil de Kraftt.

§ 7. Échafauds pour ateliers de peinture.

Les figures 4 et 5 de la même pl. CXXIV sont une élévation et un profil de l'échafaud suspendu et roulant que M. Pecher, peintre d'histoire à Turin, avait fait établir dans son atelier pour l'exécution de ses grands tableaux.

Les deux montants *a* sont suspendus chacun à la chape de deux roulettes jumelles, dont chaque galet roule dans la feuillure d'une des sablières, aussi jumelles, *b b*, parallèles au mur, et fixées par des étriers en fer au tirant *c* de la charpente du comble.

Ces montants reçoivent les assemblages à tenons et mortaises des tasseaux *d* sur lesquels sont clouées les planches d'échafaud.

Pour que ces montants soient maintenus verticaux, malgré le poids des peintres placés sur les planches, ils sont chacun garnis par le bas de deux roulettes à angle droit, qui roulent contre les faces de deux pièces de bois fixées à des poteaux qui les maintiennent parallèles à la muraille, contre laquelle le tableau doit être placé.

Les figures 6 et 7 sont des projections, sur une échelle double des roulettes jumelles, de la ferrure qui les attache à un montant, et des sablières jumelles dans lesquelles elles roulent.

VI.

ÉCHAFAUDS TOURNANTS.

§ 1. Échafaud tournant de la coupole du Panthéon de Rome.

La forme circulaire des édifices permet de simplifier celle des échafauds mobiles, en les faisant tourner autour de l'axe vertical de la surface de révolution qui forme les parois intérieures des coupes. Le plus bel échafaud, le plus ingénieux qui ait été construit est celui qui a servi en 1756 à la restauration intérieure de l'admirable coupole du Panthéon, à Rome, par Campanarino; nous en donnons les détails pl. CXXVIII, par des projections octogonales d'après une vue perspective, gravée dans la *Chalcographie* des frères Piranesi, in-folio, tome VI du *Supplément aux Antiquités*. Pour qu'on puisse mieux juger de l'importance et de la hardiesse de ce bel échafaud tournant, j'ai placé sur la même planche le plan du Panthéon de Rome, fig. 2, et une coupe, fig. 1, suivant la ligne *P R* de ce plan.

La figure 3 est, sur une grande échelle, une coupe de la coupole, suivant la ligne PR de la figure 2 ou $p r$ des figures 6 et 7.

L'échafaud est projeté en élévation sur le plan de cette coupe. Une deuxième projection verticale est tracée fig. 4 et 11 (1); sa projection horizontale est tracée fig. 6 et 7.

Cet échafaud était composé de deux fermes, chaque ferme était formée de deux arcs en charpente A , B , liés par des demi-moises. Pour empêcher toute flexion qui aurait pu altérer la courbure de l'échafaud, des tringles de fer D attachées par des boulons se croisaient et remplissaient les fonctions de croix de Saint-André. L'écartement entre les deux fermes était maintenu par des liernes E , F , assemblées en dehors et en dedans des fermes; les liernes E du dehors étaient distribuées suivant les hauteurs où devaient se trouver les planchers pour concourir à leur soutien, et afin qu'aucune ne put faire obstacle aux travaux qui devaient être exécutés sur les parois intérieures de la coupole.

Afin d'empêcher le balancement d'une ferme à l'autre, des tringles en fer pareilles à celles dont nous venons de parler, formaient dans la courbure du dessous de l'échafaud, des croix de Saint-André doubles, G , fig. 11, qui servaient en même temps de garde-corps à l'égard des ouvriers.

Ces deux fermes étaient réunies par le haut en R au moyen de forts boulons, à un large plateau de deux pièces percé d'un trou rond dans lequel passait l'axe vertical.

Par le bas, les deux fermes étaient liées par une entretoise, et chacune portait une grosse roulette L dont la surface devait faire partie d'un cône ayant son sommet au point O , centre de la coupole dans le plan du dessus de la corniche que les roulettes devaient parcourir.

Nous avons dessiné, dans cette figure, des ouvriers occupés à mouvoir l'échafaud sur ses roulettes pour le changer de place à mesure de l'avancement du travail, au moyen d'un palan.

La fig 9 est une coupe de l'échafaud, suivant la ligne xy de la figure 3, et perpendiculaire à cette projection.

L'axe vertical en bois h , autour duquel tournait l'échafaud, était maintenu par un système de charpente qui assurait son immobilité au centre de la lanterne.

(1) Les figures 4 et 11 forment une seule projection verticale que nous avons interrompue dans une partie de sa hauteur pour que celle de la figure 3 pût être entière. Nous nous sommes bornés, dans ces figures 4 et 11, à représenter les parties qui étaient indispensables pour que la description fût complète; il en est de même des figures 6 et 7, qui forment une seule projection horizontale, interrompue dans le milieu de sa longueur, pour le même motif.

La figure 8 est une projection horizontale de cette charpente sur le plan supérieur de la lanterne.

Deux chantiers *a* et huit plateaux *b* formaient d'abord un assemblage octogonal régulier, posé sur le bord supérieur de la lanterne; deux poutres parallèles *c* reposaient sur les chantiers *a* et y étaient boulonnées. Un poinçon *d* et deux contre-fiches *e* assemblés au-dessous de chaque poutre formaient deux pendentifs consolidés par des moises horizontales *f*. Une forte moise horizontale *o*, perpendiculaire aux deux dernières et placée en dessous, saisissait les deux poinçons et l'axe vertical *h*, situés exactement au centre de la lanterne; une autre moise *g* et deux contre-fiches *i* rendaient la position de l'axe invariable, en le saisissant au-dessus du niveau des poutres *c* sur lesquelles les prolongements des moises *g* étaient fixés par des boulons. Pour ne point affaiblir l'axe, les moises *g* étaient seules entaillées et le glissement vertical était arrêté par deux chantignoies *j* boulonnées à l'axe et portant sur les moises *g*.

Pour compléter la stabilité de cet axe huit étais horizontaux *k* rayonnaient autour de cet axe, et l'arc-boutaient contre les parois intérieures de la lanterne: l'égalité d'écartement de ces huit étais se trouvait maintenue par des goussets *m*, et cette sorte d'enrayure horizontale était tenue à la hauteur de la partie octogonale de l'axe, fig. 10, qui en recevait les abouts, vers le cercle de fer horizontal *n* qui passait en dessus, et leur était fixé ainsi qu'à la moise *o* par des boulons et par leurs extrémités opposées. Ces étais se trouvaient soutenus au moyen des moises pendantes *s*, attachées par des boulons aux pièces *b* de l'octogone qui reposait sur le plan du couronnement de la lanterne. Les moises *f* qui embrassaient l'axe et reposaient sur la grosse moise *o*, s'opposaient au glissement vertical de l'axe et concouraient au soutien du plancher *q*, qui n'est pas représenté dans la fig. 8.

L'axe vertical *h*, qui se prolongeait au-dessous de l'échafaud, était cylindrique dans la partie de sa longueur saisie par la moise-plateau *H* servant d'entretoise pour la réunion des fermes, et par la grande rondelle *p*, aussi de deux pièces, soutenue par quatre chantignoies *r* fixées chacune par deux boulons et un embrèvement sur les faces du bout inférieur de l'axe.

La fig. 5 est une projection horizontale qui présente, vue en-dessous, le bout carré de l'axe *h*, et les quatre chantignoies *r* qui soutiennent la rondelle *p*.

Un plancher horizontal *k*, fig. 3 et 11, et saillant au-delà de la corniche, dans l'intérieur de la coupole, servait à hisser du sol intérieur de la rotonde au niveau du pied de l'échafaud, les matériaux nécessaires à la restauration de la coupole. Ce plancher était établi sur deux poutrelles *d*

portant d'un bout sur l'entretoise; leurs autres bouts étaient supportés par deux barreaux *n*. Nous avons dessiné des ouvriers occupés à monter, au moyen d'un palan, une pierre de taille. On passait d'un plancher à l'autre au moyen de petites échelles, que notre dessin n'indique pas.

§ 2. Échafaud tournant avec plancher mobile.

Après la description d'une si ingénieuse et si élégante invention, nous avons longtemps hésité à présenter deux combinaisons que nous avons composées pour des échafauds tournants, destinés à des travaux intérieurs, dans des coupoles de moyennes dimensions; mais comme ils peuvent être utiles ou faire naître l'idée d'autres constructions meilleures, nous nous sommes déterminé à les figurer dans nos planches.

La figure 6, pl. CXXV, est la coupe d'un dôme de moyenne dimension, dans laquelle est projeté le profil d'un échafaud tournant.

La figure 5 est la projection horizontale d'un châssis, placé horizontalement, composé de deux solives *a*, d'une entretoise *m* et d'une pièce cintrée *n* portant deux galets roulants sur la corniche; ce châssis sert de base à l'échafaud. Un montant vertical *c* est porté par un tourillon également vertical, sur un pilier *d* en bois ou en maçonnerie élevé momentanément au centre de la rotonde. Ce montant est saisi par les deux moises horizontales *f* et *h*; il ne dépasse que très-peu le niveau du dessus du plancher; deux autres montants aussi verticaux *p* sont également saisis par ces deux mêmes moises, mais ils s'élèvent vers le sommet de la coupole: ils sont réunis par une entretoise *q* et une croix de Saint-André. Ils soutiennent deux arcs égaux et parallèles projetés verticalement en *z x* et assemblés sur les sablières en *z*.

L'une des pièces de la moise *h* est prolongée suivant le diamètre de la rotonde comme la sablière *a*, elle porte à chaque extrémité un galet qui roule sur la corniche pour retenir le déversement de l'échafaud.

Un plancher *i k* portant les ouvriers est soutenu, par chacune de ses extrémités, par un triangle *o i k*; chaque triangle porte par un tourillon sur le bout d'une bielle *v* qui peut se mouvoir sur la charnière fixée à la moise *f*; chaque triangle s'appuie par son angle *k* sur un des arcs *z x*, par l'intermédiaire d'un galet qui roule dans la rainure pratiquée dans le milieu de cet arc. En changeant l'inclinaison des bielles par le moyen du treuil et des cordages passant sur les poulies *s*, on fait monter ou descendre le plancher *i k* sans qu'il cesse d'être horizontal.

Lorsque ce plancher est dans une position convenable pour le travail

qu'on se propose, les bielles sont fixées parallèlement l'une à l'autre, c'est-à-dire sous la même inclinaison, au moyen de chevilles en fer passées dans les trous percés sur les faces verticales des arcs, et l'on peut faire tourner l'échafaud sur son pivot pour que le plancher parcoure tout le tour du dôme.

La figure 9 est un plan du plancher mobile.

§ 3. *Échafaud tournant mobile sur losangr.*

Un mât *a* d'une seule pièce ou d'assemblage, fig. 11, pl. CXXV, monte depuis le sol, ou depuis le dessus d'un support élevé momentanément en bois ou en maçonnerie, au centre de la rotonde; il tourne sur un tourillon en fer dont son pied est garni. Il est maintenu vertical par son extrémité supérieure qui est cylindrique, et qui est prise dans un collier placé au centre d'une enrayure *b* établie au-dessous de la lanterne; à peu près à la hauteur de la naissance de la coupole se trouve un petit plancher *c* fixé au mât, et qui tourne avec lui. Le plancher *d* qui porte les ouvriers est combiné avec le plancher *c*, par deux châssis *f* qui sont toujours parallèles et qui sont attachés l'un et l'autre par des charnières.

Un de ces châssis est représenté séparément fig. 10.

Au moyen d'un cordage *m* attaché à l'un des châssis passé sur une poulie *v* fixée au mât, on change leur inclinaison et, par conséquent la hauteur du plancher sur lequel les ouvriers sont placés pour travailler, le cordage est ensuite amarré au mât.

Lorsque la disposition de la coupole le permet, on peut maintenir la position verticale de l'échafaud de la figure 6 par un mât, comme celui employé dans la figure 11, et se dispenser alors de le faire porter par des roulettes sur la corniche.

CHAPITRE XXXVIII.

PONTS FIXES EN CHARPENTES.

Un pont est une construction qui a pour objet d'établir une communication directe et facile entre deux points séparés par un espace qu'on ne saurait franchir autrement sans rencontrer de grands obstacles qui en augmenteraient les difficultés, s'ils ne la rendaient pas impossible; on établit des ponts sur des fossés, des ravins, des marais, des rivières, etc.

Nous n'avons point à faire l'histoire des ponts, notre but étant uniquement d'exposer l'état de l'art d'en construire en charpentes; nous ne pouvons cependant nous dispenser de faire ressortir, par quelques citations, le fait que nous avons déjà énoncé, que l'art de la charpenterie a donné naissance à celui de construire les ponts.

L'invention des ponts remonte à la plus haute antiquité, et doit être de beaucoup antérieure aux constructions remarquables citées par les plus anciens historiens.

Hérodote prétend que Menès, un des premiers souverains de l'Égypte avait fait bâtir un pont sur le bras du Nil; Diodore assure qu'on devait à Sémiramis le magnifique pont qui traversait l'Euphrate, à Babylone. Quoi qu'il en soit, l'art de construire les voûtes ayant été ignoré des Assyriens et des Égyptiens, pour peu que les travées de leurs ponts aient eu de portée, elles ne purent être exécutées qu'en charpentes, et probablement elles étaient de construction fort simple, malgré l'éclat qui a pu être donné à la décoration de ces ponts. Les Grecs paraissent n'avoir point attaché une grande importance à la construction des ponts, car on ne trouve aucun vestige remarquable de ceux qu'ils peuvent avoir bâtis; ce qui tient probablement au rare besoin qu'ils ont eu d'en établir.

Les Romains, au contraire, nous ont laissé de nombreux et beaux exemples de leur art et de leur magnificence dans ce genre de construction, comme dans tous les travaux qu'ils ont faits. Néanmoins, les ponts en charpentes ont dû, à Rome comme partout, précéder de beaucoup la construction des ponts en pierre.

Le premier pont qu'on vit à Rome, sur le Tibre, fut celui de Sublicius que l'action courageuse d'Horatius Coclès a rendu célèbre; il était en charpentes. Il avait été bâti au pied du mont Aventin, sous le règne d'Ancus Martius, quatrième roi de Rome, mort 616 ans avant J.-C., après avoir régné 25 ans. Le pont de Trajan, sur le Danube, et celui de César, sur le Rhin, qui sont également célèbres, étaient aussi en charpentes.

La construction des ponts en maçonnerie n'a pu être en usage qu'après que l'art de construire des voûtes a été inventé. Or, les plus anciennes voûtes dont il soit fait mention, sont celles des grands aqueducs de Rome (cloaca maxima), construits au plus 600 ans avant J.-C., sous le règne de Tarquin l'Ancien, qui avait apporté cette invention d'Étrurie où il était né. Le pont de Rimini, l'un des plus anciens ponts en maçonnerie, ne fut bâti que sous le règne d'Auguste, vers le commencement de notre ère. Le pont Saint-Ange, à Rome, qui portait autrefois le nom de pont d'Élius, fut construit l'an 138, par Adrien, en face du superbe tombeau qu'il s'était fait bâtir.

Ainsi, jusque vers cette époque, les Romains ne construisirent que des ponts en charpentes.

En France et en Allemagne, les ponts en charpentes précédèrent de beaucoup les ponts en pierre; tous les anciens ponts de Paris étaient en bois.

Le pont le plus simple pour franchir un espace étroit, a été une planche ou un madrier; pour un espace plus large, une pièce de bois dut être substituée au madrier, et donner un passage suffisant pour une seule personne. Lorsque le pont dut être plus large, plusieurs pièces de bois posées les unes près des autres, purent suffire; mais dès qu'il s'est agi de livrer une large issue, on a dû trouver plus simple de former le pont de plusieurs pièces en longerons, également écartées, recouvertes d'un plancher. Lorsque enfin l'étendue de l'espace à franchir devint trop grande pour que les longerons pussent, d'une seule portée, poser sur les points d'appui, il a fallu construire plusieurs ponts à la suite les uns des autres, posés sur des soutiens intermédiaires et communs, que l'on a nommés *palées*, parce qu'ils n'étaient composés que de pieux (*pals*).

Ces palées, multipliées suivant la longueur des longerons, étaient réparties dans la largeur des rivières dont elles obstruaient le cours.

L'art du charpentier en se perfectionnant est parvenu, pour débarrasser les rivières, à diminuer le nombre des palées en combinant les pièces de bois de manière qu'elles se soutinssent mutuellement entre les points d'appui que leur présentaient les rivages, ou des palées beaucoup plus rares. Ceux qui veulent que l'homme n'ait rien inventé qu'en imitant

les œuvres de la nature et souvent celles du hasard, peuvent présumer que les premiers ponts construits au moyen de pièces diversement combinées, ont eu pour modèle des arbres qui se sont mutuellement arrêtés dans leur chute fortuite, au-dessus de quelque précipice. Pour nous, nous croyons que les charpentiers ont pris les modèles de la construction des premiers ponts d'assemblages dans leurs propres œuvres qui ont précédé l'invention des ponts en charpentes, c'est-à-dire, dans la construction des combles de maisons. En effet, nous voyons que les ponts sont formés de pans de charpentes verticaux, ou de fermes comme celles des combles. Ces fermes soutiennent des poutrelles qui font office de pannes, et ces poutrelles supportent les longerons qui remplacent les chevrons et qui reçoivent le plancher du pont comme ceux-ci reçoivent le plancher du toit. On peut donc dire que le système de construction des ponts est le même que celui des combles, et que ces deux systèmes ne diffèrent que par leur mode d'application.

On peut classer les ponts en bois suivant les systèmes de leurs constructions en diverses catégories :

- 1° Ponts sur longerons simples ;
- 2° Ponts sur longerons avec contre-fiches et moises ;
- 3° Ponts sur longerons avec armatures ;
- 4° Ponts avec armatures et contre-fiches ;
- 5° Ponts avec armatures et croix de Saint-André ;
- 6° Ponts suspendus à des cintres ;
- 7° Ponts supportés sur des cintres.

L'art de la charpenterie a créé un grand nombre de ponts résultant de la combinaison des dernières catégories.

Sous le rapport de leurs soutiens, les ponts peuvent être portés sur des palées en bois ou sur des piles en maçonnerie, et enfin considérés à l'égard de l'influence de leur direction sur les diverses combinaisons et assemblages des bois qui les composent, ils peuvent être droits ou biais suivant que la rencontre des routes auxquelles ils livrent passage est droite ou oblique, par rapport à celle des espaces qu'ils ont à franchir.

Enfin, diverses circonstances peuvent modifier la nature de la surface de la chaussée qui passe sur un pont. Cette chaussée peut être pavée ou ferrée, ou n'être formée que d'un simple plancher; ce qui peut encore apporter quelques modifications dans les détails de la construction des ponts.

En outre de leur but et de leur résistance et à la charge et aux secousses des objets dont ils doivent supporter le passage, les ponts sont assujettis à

satisfaire à des conditions qui leur sont imposées par les circonstances locales de leurs positions.

Ainsi, ils doivent n'embarrasser que le moins possible le lit d'une rivière navigable. Sur les rivières susceptibles de grandes crues, les bois qui composent les travées ne doivent point former d'obstacles aux crues des eaux, lors de ces crues. En général, ces travées doivent être assez élevées, même à leurs naissances, pour que les eaux ne puissent les atteindre, les renverser ou les détériorer; sur les rivières sujettes aux débâcles, les palées des ponts doivent être assez fortes pour leur résister, ou être préservées par des constructions auxiliaires du choc des glaçons.

Les ponts que nous allons décrire dans la vue de faire connaître les différents systèmes que les constructeurs ont adoptés suivant les circonstances dans lesquelles ils devaient les exécuter, remplissaient, autant qu'il a été possible, ces diverses conditions, que l'on ne doit point perdre de vue toutes les fois qu'il s'agit de projeter un pont en charpentes.

I.

PONTS SUR LONGERONS, SUR PILES ET PALÉES.

§ 1. Pont de Sublicius.

Le pont de Sublicius, dont nous avons déjà parlé page 366, comme un des plus anciens ponts de Rome, avait été construit, selon Denis d'Halicarnasse, aux frais des premiers chefs de la religion, à cause de la nécessité où ils étaient d'aller exercer leur ministère de l'un et de l'autre côté du Tibre, ce qui les fit appeler *pontifes*, c'est-à-dire *faiseurs de ponts*.

Ce pont fut rompu environ un siècle après sa construction, pendant qu'Horatius Coclès en défendait le passage contre les soldats de Porsenna, qui assiégèrent Rome l'an 507 avant J.-C.

On prétend que le nom de *Sublicius* lui fut donné, parce qu'il était bâti sur des pieux.

Pline rapporte que, pour éviter à l'avenir les difficultés qu'on avait éprouvées à rompre ce pont, on ordonna que celui qui devait être reconstruit à sa place pût se démonter au besoin, et qu'il n'y serait employé ni fer ni clous.

Nous donnons, fig. 1 et 2, de notre planche CXXXVII, d'après une pers-

pective figurée pl. XCXVIII de l'*Art de bâtir* de Rondelet, une projection verticale et une coupe de ce pont. Ces deux figures donnent une idée des procédés, aussi simples que solides, qu'on a probablement suivis dans sa construction. Ce pont aurait pu acquérir un complément de solidité par quelques pièces inclinées, telles que celle que nous avons figurée en lignes ponctuées, pour s'opposer au mouvement de balancement dans le sens du cours du Tibre, comme on en voit dans la figure 38, sinon que dans cette figure elles sont posées en moises sur les pieux, tandis que dans les palées du pont de Sublicius elles auraient pu être comprises entre les pieux.

§ 2. Pont de César sur le Rhin.

Lorsque César voulut franchir le Rhin pour pénétrer chez les Germains, il parut indigne de sa gloire d'en tenter le passage sur des bateaux qui, d'ailleurs, n'offraient pas assez de sûreté pour le succès de l'entreprise. Malgré les difficultés que présentaient la profondeur et la rapidité du fleuve, il résolut de construire un pont qu'il regardait comme la seule voie qu'il dût suivre (1).

Ce pont fut exécuté 55 ans avant J.-C., d'après l'idée que César en avait conçue. Dix jours après qu'on eut coupé et rassemblé tous les bois, le travail étant entièrement terminé, l'armée exécuta son passage.

On n'a aucune représentation de ce pont datant de l'époque de sa construction, ou d'un temps qui en soit rapproché. Mais plusieurs architectes ont essayé de le figurer d'après la description que César nous en a laissée dans le 4^e livre de ses *Commentaires*. Cette description est d'une si grande simplicité et d'une telle précision, que les dessins qui ont été faits d'après elle, diffèrent très-peu entre eux, et seulement sur des points qui ne sont pas essentiels. Le dessin que nous donnons, fig. 4, 5 et 8, de notre planche CXXIX, est tiré des anciennes feuilles du cours de construction de l'École polytechnique, il diffère peu de celui donné par Palladio, et de celui de Rondelet : il paraît, du reste, plus conforme à la description qu'on lit dans les *Commentaires*.

Albertini suppose, dans le dessin qu'il a fait du pont de César, que les poutres étaient tenues par des ligatures en cordages; mais nous pensons qu'il est plus conforme au texte de César de supposer que les bois étaient attachés les uns aux autres par des boulons en fer.

(1) On présume que ce pont fut construit entre Emmerich et Wezel.

La figure 4 est une coupe perpendiculaire à l'axe du pont.

Sa figure 5 est le plan d'une palée avec les portées des longerons.

La figure 8 est la projection de cette palée sur un plan vertical, parallèle à la longueur du pont.

Dans les figures qu'on a données du pont de César, on a représenté un plancher en planches clouées sur les longerons; la vérité est, suivant le texte des *Commentaires*, que ce prétendu plancher était formé par un lit de fascines étendues sur les longerons, en les croisant de la même manière qu'auraient fait les planches.

En amont des palées, César avait fait planter des pieux pour arrêter les bateaux que les ennemis auraient pu envoyer, par le courant du fleuve, pour les briser; nous les avons figurés comme ils le sont sur le dessin que nous avons pris pour modèle.

§ 3. Pont moderne.

Les figures 37 et 38, pl. CXXXVII, représentent, par deux projections, la construction d'un pont moderne établi sur palées, composées chacune d'une simple file de pieux liés par trois rangs de moises, dont deux sont inclinées dans la vue d'empêcher le balancement dans le sens du cours de l'eau; les deux côtés du dessus de ce pont sont garnis de garde-corps.

Les palées des ponts en charpentes sont ordinairement précédées sur les rivières sujettes aux débâcles et à *charrier* des glaçons, d'une construction aussi en charpentes, appelée *brise-glace*; nous en parlerons plus loin.

§ 4. Détails de construction.

Nous donnons, fig. 1 et 2, pl. CXXIX, les projections d'un autre pont sur palées. Les détails qu'il comporte nous ont déterminé à le dessiner sur une échelle plus grande que celle des figures que nous venons d'indiquer dans l'article précédent, et auxquelles ces détails pourront être également appliqués.

La figure 1 est la projection d'une travée d'un pont sur longeron, de l'une des constructions les plus simples, en usage aujourd'hui.

La figure 2 est la moitié de la coupe du même pont, par un plan vertical perpendiculaire à celui de la première projection.

Ce pont est supposé établi sur des culées en pierre, comme seraient des murs de quais; mais dans la largeur du lit de la rivière, il est porté sur des palées dont une seule est en partie représentée dans la figure 2.

Cette palée est composée de cinq pieux *i*; les trois du milieu de la longueur de la palée sont verticaux, ceux des deux extrémités sont inclinés en sens inverse, pour s'opposer au balancement de la palée. Ces pieux sont coiffés d'un chapeau *k* sur lequel portent les cinq longerons *o*, répartis sur la largeur du pont et assemblés bout à bout sur la palée.

Cette palée est susceptible d'être consolidée par des moises en écharpe, comme celles de la figure 34, pl. CXXXVII.

Attendu que les chapeaux *k* sont fort étroits, des pièces formant doubles corbeaux *p*, nommées *sous-longerons* ou *sous-poutres*, servent de supports intermédiaires entre les longerons et les chapeaux; elles permettent d'assembler les longerons par fausses coupes et elles leur donnent une assiette plus étendue et plus solide. Les longerons reçoivent les madriers jointifs *q* formant le plancher du pont.

Les garde-corps des ponts en charpentes sont établis au-dessus des longerons qui forment leurs têtes sur les bords des travées : ils sont composés de poteaux *a*, de lisses *b* et de sous-lisses *c*.

Les poteaux sont assemblés dans des poutrelles *d* portées et entaillées sur les longerons, et qui reçoivent les contre-fiches *e* formant *chasse-roues* en dedans, et les contre-fiches pendantes *f* en dehors. Les excédants des épaisseurs des poutrelles qui s'élèvent au-dessus des madriers du plancher, se perdent dans la forme en sable *n* qui repose sur ce plancher, et qui sert à donner le bombement de la chaussée en pavés.

Les pièces de bois *g* qui s'appuient intérieurement contre les poteaux du garde-corps de chaque côté du pont, et qui sont assemblées à entailles réciproques sur les poutrelles *d*, encaissent le sable; elles retiennent le pavé et elles forment les bordures de la chaussée; elles sont appelées garde-pavé.

Les inconvénients graves des chaussées en pavés, sur les ponts en bois, sont reconnus aujourd'hui; ces chaussées obligent à donner aux ponts une épaisseur qui rend leur apparence d'une lourdeur qui est, au surplus, d'accord avec la charge du sable et du pavé que ces ponts supportent, et qui exige plus de force dans les longerons, mais qui est peu conforme aux règles du goût, qui veut que la légèreté d'un édifice augmente à mesure qu'il s'élève. Ce défaut disparaît dans les ponts en pierre dont les masses sont plus considérables, et les piles plus épaisses que des palées.

Les défauts les plus graves des chaussées en pavés, sur les ponts en bois, sont :

1° D'entretenir sur les planchers une continuelle humidité qui les pourrit, quelque bien brayés que soient les bois, parce que le sable retient toujours de l'eau longtemps après qu'il a plu;

2° Parce que dans les vibrations causées par les objets qui passent sur les ponts, la charge des chaussées accroit l'effort auquel les longerons doivent résister, et l'action de ces vibrations sur les assemblages.

On est donc revenu aujourd'hui à l'usage des planchers en bois, sur lesquels on cloue des doublages également en bois, que l'on remplace aisément et à peu de frais, lorsqu'ils sont usés : on forme aussi des chaussées en gravier; mais elles conservent une partie des inconvénients des chaussées pavées.

§ 5. *Ponts dormants des places de guerre.*

Les ponts dormants en charpentes sur lesquels les routes traversent les fossés des places de guerre sont composés de longerons, et le plus souvent ils sont portés sur des palées; néanmoins, nous avons représenté dans la figure 2, de la planche CXXXVIII, une coupe en long de la première travée *a b* d'un pont dormant sur longerons, avec piles en maçonnerie *a* et *b*, établi sur le fossé d'une place de guerre (1).

La figure 3 est une coupe en travers du même pont dans le milieu d'une travée : ce pont diffère peu de celui décrit dans l'article précédent.

La figure 11, planche CXXXVIII, est une élévation d'un pont dormant sur longerons avec piles en maçonnerie, que j'ai fait construire, en 1821, à la porte Saint-Nicolas, à La Rochelle, lorsque j'y étais directeur des fortifications. La figure 12 en est la coupe transversale. Ce pont diffère des ponts dormants jusqu'alors en usage, en ce que j'y ai établi des trottoirs et des tuyaux verticaux d'égouts *x* et *y* pour les eaux de pluie. J'avais fait construire, en 1818, un autre pont sur longerons et piles en pierres, mais sans trottoirs, à la porte Neuve, de la même ville; et, pour éviter l'apparence trop massive de la grande épaisseur de bois résultant de la superposition des longerons *c*, des têtes et des gardes-pavés *d*, comme dans la figure 3, j'ai supprimé le longeron *c*, et j'ai soutenu les extrémités des madriers par une bande de fer boulonnée au garde-pavé *d*, auquel j'ai donné le même équarrissage qu'aux longerons.

(1) On nomme les ponts des places de guerre, *ponts dormants* pour les distinguer des ponts mobiles, tels que les ponts flottants, les ponts tournants et les ponts-levis, dont nous parlerons au chapitre XXXIX.

§ 6. *Passerelles.*

Les passerelles, ponts étroits que l'on établit sur les chemins qui bordent les rivières, sont construites avec plus de simplicité encore que les ponts sur longerons, lorsqu'elles ne doivent livrer passage qu'à des piétons sur des ravins ou sur les petits cours d'eau affluents.

Nous avons représenté, fig. 11, 12 et 13, pl. CXXIX, les détails de la construction d'une petite passerelle; la fig. 11 est son plan; la fig. 12 est son élévation.

La figure 3 représente l'élévation d'une grande passerelle, et la fig. 10 en est le plan. La coupe, fig. 13, convient également à ces deux passerelles, fig. 3 et 12, dans la construction desquelles il n'y a point de longerons. Comme elles ne doivent être fréquentées que par des piétons, les charges qu'elles ont à supporter ne sont pas assez grandes pour exiger des bois plus forts que des madriers auxquels, d'ailleurs, on ne donne jamais plus de 3 mètres à 4^m,50 de longueur. On ne place sur ces passerelles qu'un seul garde-corps qui suffit pour rassurer les piétons contre le danger du passage, et leur servir d'appui. Ce garde-corps est le plus ordinairement placé du côté de la rivière, notamment lorsque les passerelles servent au halage par piétons.

§ 7. *Ponts sur longerons en bois ronds.*

On rencontre fréquemment en Russie des ponts sur longerons, formés avec des bois ronds sans aucun équarrissement, et portés sur des piles et culées construites en *chaises*. Nous donnons, fig. 6 de la planche CXXXVI, le croquis d'une pile de ce genre de construction, avec une portion du plancher du pont; l'écartement des piles est de 3 à 4 mètres; le plancher est formé de corps d'arbres de petit diamètre couchés en travers sur les longerons, et jointifs, comme sont aussi construites quelques parties de routes des régions du Nord.

§ 8. *Ponts sur longerons moisés.*

Lorsqu'on n'a pour construire un pont de médiocre portée, que des bois qui n'ont point assez de longueur pour former des longerons d'une seule pièce, on peut encore s'en servir pour établir un pont sur longerons, en les combinant par des moises.

La figure 25, pl. CXXXVII, est l'élévation d'un pont construit avec des longerons dont la longueur n'est que les deux tiers de la portée d'une travée. Les longerons qui s'appuient sur chaque culée sont en même nombre; ils sont posés alternativement de façon que chaque longeron d'une culée répond à l'espace qui sépare deux longerons de l'autre culée : les longerons se croisent ainsi sur environ un tiers ou la moitié de leur longueur. Ceux de la culée *a* s'étendent de *a* en *b*, et ceux de la culée *e* s'étendent de *e* en *d*, de façon que la longueur *b d* suivant laquelle ils se croisent, occupe le milieu de la portée de la travée. Ces longerons sont serrés entre les parties des moises *b*, *d*, de sorte qu'ils se soutiennent mutuellement dans un même plan horizontal. De légères solives sont réparties au niveau de l'épaisseur des moises, pour donner un appui horizontal aux poutrelles du plancher. En établissant un plus grand nombre de solives, on peut faire porter immédiatement sur elles et sur les moises les madriers du plancher, ce qui rendrait le pont plus léger.

On élit les longerons de façon que leur équarrissage soit réduit presque à moitié aux bouts saisis par les moises, afin de diminuer la charge du pont dans cette partie où les longerons se trouvent en nombre double.

§ 9. Ponts sur longerons croisés.

Dans le même cas que celui décrit dans l'article précédent, on peut construire un pont en croisant les longerons comme les parties d'une croix de Saint-André. Ces longerons peuvent être ronds ou équarris. La figure 17, pl. CXXXVII, est une élévation de cette ingénieuse combinaison en n'employant que deux rangs de longerons, chaque rang s'appuyant sur une culée.

Les longerons *a b*, *e d* passent les uns dans les intervalles des autres, comme les doigts quand on joint les deux mains : deux longerons transversaux *f*, *g* retiennent les longerons et assurent seuls la stabilité du pont.

Sur ces longerons transversaux s'élèvent des poteaux pour soutenir des chapeaux portant les longerons sur lesquels sont cloués les madriers du plancher.

Les longerons transversaux *f*, *g* doivent être maintenus avec une grande solidité; il convient de les boulonner à chaque longeron *a b*, *e d*; il est même prudent d'assurer leur position par des chantignoles qui détruisent leur propension à glisser sur les longerons.

La figure 18 est une combinaison du même genre, dans laquelle trois rangs de longerons composent la charpente du pont; deux rangs *a b*, *e d*, en égal nombre, posent sur les culées, et sont inclinés comme le seraient

des contre-fiches, dans un troisième rang horizontal $u v$; le nombre des chevrons est moindre d'un que dans les deux autres rangs; les chevrons de ce rang croisent les premiers en passant dans les intervalles qui les séparent, et quatre pièces cylindriques transversales u, b, d, v , qui sont comme celles du pont précédent, boulonnées sur les longerons, et assujetties par des chantignoles, soutiennent de petites palées verticales, sur lesquelles portent les longerons du plancher du pont.

Les pièces transversales u, b, d, v , sont disposées dans la figure 18 comme dans la figure 17, de façon à diviser la longueur du pont en parties égales pour la distribution de petites palées.

La disposition du pont, fig. 25, peut exiger un cube de bois un peu moindre : mais on doit remarquer que ces sortes de ponts ne sont en usage que dans des circonstances qui exigent une exécution rapide, et avec les moyens auxquels on est réduit.

II.

PONTS SUR CONTRE-FICHES.

Lorsque des considérations locales, et quelquefois la longue portée des bois dont on peut disposer et dont on veut profiter, déterminent à écarter les palées de plus de 7 mètres, on est dans la nécessité de soutenir les longerons par des contre-fiches qui sont des pièces inclinées, que nous avons appelées aisseliers dans la charpente des combles. Ces pièces donnent des appuis aux longerons sur des points de division de leur longueur, et augmentent leur force en reportant sur les palées les efforts qu'ils éprouvent, de sorte que leur portée, quant à la force qui leur est nécessaire, est réduite à la distance entre les points où ils sont soutenus par ces contre-fiches.

Plusieurs contre-fiches peuvent ainsi concourir à soulager les longerons ou poutres des ponts, et elles peuvent être combinées de diverses manières, quant à leur nombre et à leur arrangement.

§ 1. *Pont de la Brenta à Bassano.*

En général, l'usage des contre-fiches entraîne celui des moises. Il existe cependant quelques exceptions, et nous citons celle du pont de la Brenta, à Bassano, construit par Palladio, qui a, le premier, cherché par cette combinaison à donner une grande portée aux travées. Nous donnons une élé-

vation et une coupe de ce pont, fig. 21 et 22 de notre planche CXXXVII. Il est composé de cinq travées de 12 mètres et demi d'ouverture chacune; sa largeur est de 9 mètres; il est couvert d'un toit supporté par de petites colonnes en bois; ses palées ont l'apparence d'être l'exhaussement de piles en maçonnerie qui leur serviraient de fondation, ce qui vient de ce que les pieux qui forment les palées ont 10 mètres de longueur et 0^m,50 d'équarrissage, et qu'ils sont revêtus par en bas avec des madriers qui forment un coffrage rempli de pierres. Les poutres sont doublées dans le milieu de leur longueur par des sous-poutres qui ont pour longueur la moitié de la distance entre les palées, et qui sont soutenues par les abouts des contre-fiches.

§ 2. *Pont avec contre-fiches et moises.*

La figure 39, pl. CXXXVII, est une projection verticale d'un pont sur palée; la figure 40 est une coupe par un plan vertical suivant la ligne $x y$ de la figure 39; les poutres de ce pont sont, comme celles du pont de la Brenta, doublées par des sous-poutres a soutenues par des contre-fiches b , qui donnent également des appuis au quart de la portée mesurée entre les bouts des poutres; les contre-fiches sont liées par des moises pendantes y avec les poutres au-dessus des palées, ce qui augmente leur force et permet, par conséquent, de leur donner plus de longueur. Cette combinaison convient à une portée d'une vingtaine de mètres entre les palées.

§ 3. *Pont avec doubles moises et contre-fiches.*

La figure 41, même planche, est la projection d'un autre pont dont les travées auraient environ 27 mètres entre les palées.

La figure 42 est une coupe verticale suivant la ligne $u v$.

Le dessin de ce pont, et celui du précédent, sont tirés du tome II des œuvres de M. Gauthey. L'augmentation de portée des travées ayant forcé d'augmenter la longueur des contre-fiches, on les a fortifiées en les liant aux poutres par des moises pendantes qui s'opposent à leur flexion dans le plan de chaque ferme. On augmente encore la force de ces contre-fiches, en liant toutes celles des différentes fermes d'un même côté de chaque travée par des moises, pour empêcher leur flexion dans le sens perpendiculaire aux fermes. Ces moises, qui sont horizontales, sont marquées en m dans les deux figures.

Le pont Saint-Claire, sur le Rhône, à Lyon, est construit suivant ce système, si ce n'est que la portée de ses travées est de 10 à 12 mètres,

et que le nombre des pilots de ses palées est de treize; la largeur du pont est de 10 mètres, compris celle de deux trottoirs; la chaussée est pavée.

Les figures 40 à 42 présentent deux constructions pour des palées avec leurs moises en écharpe et croix de Saint-André.

§ 4. Détails de construction d'un pont avec contre-fiches et moises.

La planche CXXX contient les projections d'un pont avec contre-fiches et moises, sur une grande échelle, afin de servir de détails applicables aux deux ponts qui viennent d'être décrits.

La figure 1 est la projection verticale ou élévation d'une travée, avec une culée en charpente et une palée; elle représente une des cinq fermes qui constituent chaque travée du pont.

La figure 2 est une coupe perpendiculaire à la longueur du pont, suivant la ligne $m n$ de la figure 1.

Sur une échelle qui est le quart de celle de ces deux figures, nous avons représenté le plan de la culée en charpente, fig. 3, pris au-dessus du pont, et le plan d'une palée, fig. 6, au niveau de la ligne $p q$, les basses eaux étant supposées au niveau $v u$ des figures 1 et 2.

Dans chaque ferme, fig. 1 et 2, les poutres a sont doublées par une sous-poutre b , et la réunion des longerons ou poutres se fait à plat-joint bout à bout sur le milieu de chaque corbeau c ; excepté du côté de la culée, où les longerons et les corbeaux sont prolongés dans les terres d'une quantité suffisante pour s'appuyer sur les pieux qui composent le revêtement de la culée.

On doit remarquer dans cette combinaison, que tous les abouts des contre-fiches d avec les sous-poutres et avec les palées, aussi bien que les extrémités des corbeaux, sont consolidés par les moises f , qui les saisissent et ne permettent aucun dérangement dans ces pièces qui ne se rencontrent que par contact.

Dans plusieurs anciennes constructions, les moises pendantes f , autres que celles du milieu de chaque travée, sont établies suivant des lignes inclinées $x y$. Il résulte de cette direction donnée aux moises, qu'attendu qu'elles doivent tenir lieu de poteaux pour soutenir les lisses h et les sous-lisses k des garde-corps, elles ne présentent point un bon assemblage aux contre-fiches m qui doivent assurer la stabilité de ces garde-corps. Nous avons détaillé cet assemblage vicieux, fig. 5, qui représente, dans cette hypothèse, la moise pendante f qui répondait à la ligne $x' y'$ de la figure 1. La figure 7 est un fragment de la coupe en travers répondant à la même moise. On voit que la contre-fiche m , qui s'assemble dans la

demi-moise *f*, ne la rencontre pas à fil de bois, c'est-à-dire que la mortaise ne peut être creusée suivant le fil du bois, de sorte que l'assemblage ne peut être régulier et complet. Cette considération, qui a pour la solidité, la durée du pont, et la facilité du travail d'exécution dans la construction, plus d'importance qu'elle ne paraît en avoir, doit déterminer à placer les moises verticalement comme elles sont établies dans la figure 1, lorsqu'elles doivent concourir au soutien d'un garde-corps en bois. Il en résulte que les poteaux sont de chaque côté verticaux, et qu'ils se trouvent être les prolongements des demi-moises extérieures, comme on le voit, fig. 2, de sorte que le pont se trouve élargi de toute l'épaisseur d'une demi-moise, et que les contre-fiches *m*, qui concourent au maintien vertical des moises et des garde-corps, peuvent, ainsi que ces moises, être solidement saisies par les poutrelles horizontales, qui sont également des moises au niveau du plancher, et il résulte de cette combinaison une bien plus grande solidité, et, comme nous le verrons tout à l'heure, une grande simplicité d'exécution.

Les palées, dont les détails sont tirés d'une ancienne feuille d'étude de l'École polytechnique, sont combinées de manière à présenter la plus grande solidité, sous le rapport de leur résistance à la charge qu'elles ont à supporter sous celui de leur propre stabilité, et sous celui de la résistance aux efforts du cours de l'eau.

On doit remarquer que l'établissement du pont ne porte pas immédiatement sur les pieux et que les pièces qui composent une palée, proprement dite, sont portées sur une fondation formée de pilotis, c'est-à-dire de la réunion de plusieurs pieux profondément enfoncés dans le sol.

La figure 6 est, comme nous l'avons déjà dit, le plan de la fondation d'une palée, pris au niveau de la ligne *p q*. Cette palée, y compris sa fondation, est composée de cinq fermes répondant à celles des travées; dans chaque ferme et de chaque côté de l'axe sont deux pieux *A, B*, fig. 1, et deux poteaux *C C* de palée. Ces deux poteaux correspondent aux pieux *A*, et portent sur leurs têtes par l'intermédiaire de deux chapeaux *D* qui reçoivent l'assemblage à tenons des pieux *A* et des poteaux *C*; les chapeaux *D* sont boulonnés aux pieux *B*; dans chaque ferme de palée deux moises horizontales *P* lient les têtes des pieux *B* et les poteaux *C*. Ces moises sont reliées d'une ferme à l'autre de chaque côté par une longrine *F* boulonnée avec les poteaux de palées.

Dans la partie supérieure, les deux poteaux *C* sont liés par une moise horizontale *g*, et toutes les fermes sont reliées par une poutre *E* sur laquelle posent tous les corbeaux *c*, et par une seconde poutre horizontale *H* qui croise les moises *g* et s'assemble sur chacune dans une entaille simple. Ces deux poutres *E, H* sont assemblées avec les poteaux par des entailles

réciroques. Toutes ces pièces sont boulonnées pour les maintenir invariablement en joint.

La poutre *E* lie les fermes des palées, elle soutient les corbeaux et leur assure un même niveau, en ce qu'elle rend toutes les fermes de la palée solidaires. A l'égard de la poutre *H*, bien qu'elle fasse liaison, on doit voir qu'elle sert encore de cale de remplissage entre les poteaux pour qu'ils résistent solidairement aussi à la pression que peut exercer sur eux la contre-fiche *d*.

Les renforts *G* ont, comme leur nom l'indique, pour objet de donner plus de force à la tête de la palée qui a le plus grand effort à supporter.

Les cinq poteaux de palée forment, de chaque côté, avec les poutres *H*, *E* et la longrine *F*, un pan de charpente, pour assurer sa stabilité de forme; chacun de ses pans de palée est consolidé par une croix de Saint-André, qui est projetée en *J*, fig. 2, et dont les pièces sont assemblées à entailles réciroques avec les poteaux *C*, et leur sont boulonnées.

Cette croix de Saint-André est établie aussi dans les pans qui forment le revêtement des culées.

Les croix de Saint-André *J* et les arcs-boutants *N* s'opposent au hiement dans le sens du cours de l'eau.

Nous avons tracé en lignes ponctuées, les pièces qui composent chaque ferme de culée, qui sont combinées de manière qu'elles assurent la force de la culée pour le soutien du pont, et la résistance à la poussée des terres.

On voit qu'à chaque ferme de travée répond une ferme de culée et une ferme de palée, qui n'en font, pour ainsi dire, qu'une seule avec elle.

La figure 4 représente le moyen de maintenir vertical le dernier poteau de chaque garde-corps sur la pièce inclinée *R*, fig. 1 et 3, qui sert de profil pour soutenir le talus de la route qui aborde le pont.

§ 5. Exécution d'un pont.

La composition du pont que nous venons de décrire nous détermine à lui appliquer, pour exemple, ce que nous avons à dire sur les moyens d'exécution du pont comme travail de charpenterie, à l'égard de l'établissement des bois sur les ételons, et ce qui va suivre doit être étendu à toute espèce de construction, qui peut toujours, quel que soit son objet, être décomposée en divers pans de la même manière qu'on décompose les combles en différents pans, afin de les exécuter séparément chacun sur ételon particulier.

Ainsi le pont qui fait l'objet de la planche CXXX peut être décomposé comme il suit :

I. Dans chaque travée en cinq fermes, dans la composition desquelles il entre pour chacune :

- 1° Un longeron *a*;
- 2° Un sous-longeron *b*;
- 3° Un garde-pavé *c*;
- 4° Deux corbeaux *c*;
- 5° Deux contre-fiches *d*;
- 6° Sept moises verticales, *f, i* (une lisse *h* et une sous-lisse *k* pour les fermes des têtes).

Ces seize pièces doivent être mises sur lignes sur l'ételon d'une ferme de travée.

II. Dans chaque palée ou culée, la charpente doit être décomposée en cinq fermes de palée, formée chacune :

- 1° De deux poteaux de palée *C*;
- 2° De deux renforts de poteaux *G*;
- 3° De deux moises *g, P*;
- 4° D'un corbeau *c*;
- 5° D'une moise verticale *i*.

Ces onze pièces doivent être mises ensemble sur lignes pour chacune des cinq fermes de chaque palée.

III. On décompose encore chaque palée, en deux pans de palée, qui sont inclinées, et qui sont formées chacune :

- 1° De cinq poteaux de palée *C* avec leurs renforts *G*;
- 2° De deux poutres *E, H*;
- 3° D'une longrine *F*;
- 4° D'un chapeau *D*;
- 5° D'une croix de Saint-André *J*.

Ces onze pièces sont mises sur lignes sur l'ételon des pans de palée.

IV. Chaque palée se compose en outre d'un troisième pan moyen dans chacun desquels on trouve :

- 1° Une poutre horizontale *H*;
- 2° Une moise horizontale *R*;
- 3° Deux arcs-boutants *N*.

Ces cinq pièces sont mises sur lignes sur l'ételon tracé pour les pans moyens des travées.

V. Le pont comprend encore autant de pans qu'il y a de moises pendantes *f*. Chaque pan est composé :

- 1° De cinq des moises pendantes *f* des cinq fermes d'une travée. Ces cinq moises sont entaillées dans une moise horizontale *o*, les demi-moises des deux têtes s'élevant pour former les poteaux des garde-corps, les autres se terminant au niveau du dessus des longerons;
- 2° De cette moise horizontale *o*;
- 3° Des deux contre-fiches pendantes *m*, et des deux contre-fiches chasse-roues *n*.

Ces seize pièces sont mises sur lignes sur l'ételon commun à tous les pans formés de ces moises.

VI. On doit enfin tracer un ételon pour établir les grillages des palées, composés chacun :

- 1° De cinq moises *P*;
- 2° De deux longrines *F*;
- 3° Des deux parties de la moise *R*.

Lorsqu'on peut disposer d'un terrain assez spacieux, on fait de l'ételon des fermes des travées un ételon général comprenant tout le développement de la longueur du pont, et, sur ce même ételon, on trace ceux des fermes des palées, ce qui est surtout utile lorsque les travées ne doivent pas avoir toutes la même portée.

On n'établit point d'ételon pour les assemblages des pièces *F* et *D* avec les pieux *A* et *B*, à cause de l'impossibilité de planter les pieux avec une précision suffisante.

On pique et l'on ajuste *sur le tas* les pièces *F* et *D* pour leurs assemblages avec les pieux *A* et *B*, lorsque ceux-ci sont plantés et recépés.

Dans les fermes et pans à établir sur ételons, il y a des pièces communes qui doivent recevoir les traits *ramenerets*, ce sont : 1° Les moises verticales *f*, *i*, communes aux fermes des travées et aux fermes des moises; 2° les poteaux de palée communs aux pans de palée et aux fermes des travées; 3° les longrines *F*; 4° les moises *R*.

§ 6. Pont de Kehl, sur le Rhin.

Ce pont est du même genre que ceux que nous venons de décrire c'est-à-dire qu'il est sur *palée*, et formé de longerons, sous-longerons, contre-fiches et moises pendantes.

La figure 6, pl. CXXXII, représente une projection d'une travée de ce pont; la figure 5 est une coupe en travers du pont, et une projection d'une palée. Dans l'endroit où ce pont est établi, le Rhin a environ 440 mètres de largeur. Le pont est composé de trente travées, qui ont chacune 14 mètres de portée. Le dessus est formé de planches doublées; il a deux trottoirs pour les piétons, qui sont séparés de la voie des voitures par deux garde-corps, sans préjudice de ceux établis sur chaque tête du côté de l'eau.

§ 7. *Pont Lomet.*

L'augmentation de la portée des travées a été obtenue plusieurs fois en multipliant les contre-fiches de manière à donner aux longerons ou poutres un plus grand nombre de points d'appui.

Nous en trouvons un très-bon exemple dans une composition de M. Lomet, ancien adjudant général; nous l'avons prise pour faire le sujet d'une étude de pont biais, pl. CXXXII, sur laquelle nous reviendrons dans le paragraphe 10 de ce chapitre. Nous faisons observer ici que le pont de M. Lomet était projeté droit : une des fermes représentées pl. CXXXII, considérée isolément, est copiée, à très-peu près, sur celle de M. Lomet, dont on trouve un dessin dans le Recueil de Krafft.

Nous faisons remarquer d'avance que les contre-fiches, en s'accouplant successivement, acquièrent de la force à mesure que les points sur lesquels elles doivent s'appuyer, se trouvent plus éloignées de ceux qu'elles doivent soutenir.

§ 8. *Ponts des colonies russes.*

Le pont dont l'élévation est représentée, fig. 16, pl. CXXXVI, a été construit dans les colonies militaires russes; la combinaison des bois a quelque analogie avec celle que nous avons décrite dans l'article précédent.

Les contre-fiches sont disposées de manière à répartir également les points d'appui du pont, et elles sont fortifiées par les moises qui les partagent elles-mêmes en parties sensiblement égales. La figure 10 est une coupe de ce pont suivant une des lignes *m n*. Des croix de Saint-André, comprises dans les épaisseurs des contre-fiches et dans celles des palées, sont indispensables pour servir de contrevent.

La figure 17 représente un autre pont construit également dans les colonies russes.

La figure 15 en est une coupe suivant une ligne *p q*.

Ces deux ponts sont exécutés en bois de sapin.

§ 9. Pont de la Mulatière à Lyon.

Perronet avait fait, pour un pont qui devait être construit à la Salpêtrière, à Paris, un projet qui se trouve décrit dans ses œuvres, pl. XLII; il y avait appliqué un système imité de celui qu'il avait adopté pour les cintres servant à soutenir les vousoirs des arches en pierre pendant leur construction.

La figure 29 de la pl. CXXXVII, représente une des onze travées de 14^m,90 à 17^m,50 de portée du pont de la Mulatière, à Lyon, sur la Saône, et dans lequel on a suivi le même mode de construction. Ce système a donné naissance aux ponts construits sur des cintres; mais comme les arbalétriers composés de deux cours de pièces assemblées à crans et boulonnées, formant des cordes dans l'arc de cercle que dessinerait un cintre, font de très-grands angles, et qu'ils ont quelque rapport avec les contre-fiches maintenues par des moises, nous nous sommes déterminé à en parler dans cet article. Il est résulté cependant de cette disposition, au pont de la Mulatière, de très-fortes pressions sur leurs abouts, qui s'amollirent et se pourrèrent promptement par l'effet de l'humidité que les moises y avaient entretenue; le mal fut encore plus grand aux naissances, où les arbalétriers pressaient sur les faces des coussinets, de sorte qu'il en résulta un tassement considérable dans toutes les travées, et ce tassement fut d'autant plus grand que la flèche des travées était plus petite. On remédie à cet inconvénient, par l'interposition du fer dans les assemblages dont nous parlerons ci-après, paragraphe 12.

§ 10. Pont de Kingston.

Ce système a été employé avec quelques modifications sur la Tamise, au pont du village de Kingston, près de Londres, dont la fig. 28, pl. CXXXVII, représente une des sept travées; leurs ouvertures sont inégales; celle de la travée du milieu étant de 16^m,09, celle des deux travées contiguës de 13 mètres, celle de la travée suivante de 11^m,07 et celle des travées contiguës à des arches en pierre qui forment les culées, est de 9^m,07. Dans ce système, les moises ne répondant pas à tous les abouts des contre-fiches, la cause du tassement s'est trouvée considérablement diminuée.

III.

PONTS AVEC ARMATURES.

Nous avons déjà parlé, dans le tome I^{er}, des armatures que l'on emploie pour augmenter la force des poutres. L'application qu'on a faite de ce moyen à la construction des ponts a donné lieu à une foule de combinaisons, depuis le ponceau le plus minime jusqu'aux gigantesques travées qu'on a construites dans le siècle dernier.

Les armatures dans les ponts peuvent être de diverses sortes; elles peuvent résulter de la juxta-position ou de la superposition de plusieurs pièces de bois qui augmentent la force de la pièce principale sur toutes les parties de sa longueur; elles peuvent aussi consister dans la combinaison de plusieurs pièces assemblées ou en dessous de la pièce principale, comme dans les pendentifs (1), ou en dessus, comme nous en avons indiqué pour soutenir de grands plafonds (2). Dans le cas de l'emploi d'armatures d'assemblages pour des ponts, c'est de ces dernières qu'on fait le plus fréquemment usage, afin de ne pas obstruer le passage en dessous des ponts par des pièces pendantes; car c'est ordinairement dans cette vue qu'on préfère des ponts supportés par des armatures à ceux qui sont soutenus par des palées (3).

(1) Page 158.

(2) Voyez tome I^{er}, page 400 et 409.

(3) Dans un volume in-8°, publié à Nancy en 1770, accompagné de sept planches, M. Genneté, premier physicien de feu sa Majesté Impériale, a décrit un système de son invention, qui paraît lui avoir été suggéré par l'armature d'une poutre au moyen d'un poinçon intérieur, comme celle de la fig. 9, pl. XXXVIII.

Le système de M. Genneté est composé de plusieurs poinçons *a*, fig. 15, pl. CXXXVIII, dans lesquels des longerons fort courts *b*, et leurs sous-longerons *d*, sont assemblés à tenons et mortaises, à embrèvements inverses, pour former quatre fermes qui portent le plancher *c*; des goujons *m* unissent les longerons et les sous-longerons. La figure 13 ne présente qu'une culée *e*; la ligne *f g* est l'axe vertical du milieu de la longueur d'une ferme. Nous donnons cette figure pour prémunir les charpentiers contre ce système, auquel M. Genneté a attribué une très-grande force, quoiqu'il soit évident qu'il n'en a aucune. Il fait néanmoins diverses applications de son système à la construction des ponts et planchers pour des magasins. Il serait dangereux d'en faire l'essai pour aucun usage.

§ 1. *Pont de Palladio.*

La figure 9, de la planche CXXXVII, est une élévation d'un pont qui est représenté dans les œuvres de Palladio.

La figure 10 en est le plan; ces figures n'offrent que la charpente du pont; son plancher n'est point marqué.

On voit que par cette disposition la force des madriers posés de champ qui servent de longerons, est augmentée près des culées par la juxtaposition d'autres madriers avec lesquels ils sont liés par les tenons passants des entretoises qui les traversent tous et qui sont eux-mêmes traversés par des clefs.

Les garde-corps qui surmontent les longerons forment, au moyen des contre-fiches en diagonale des armatures du genre de celles dont nous aurons occasion de parler plus loin.

§ 2. *Pont avec sous-longerons.*

La même combinaison que Palladio a employée par juxtaposition, peut aussi être employée par superposition de sous-longerons de longueurs décroissantes, et même avec plus d'avantages sous le rapport de la résistance des bois. Le pont, fig. 19, est un exemple de ce mode de construction. Les fermes qui composent ce pont peuvent être en tel nombre que la largeur du pont le nécessite; elles peuvent être assez rapprochées pour porter immédiatement le plancher, sinon elles pourraient recevoir un solivage sur lequel les madriers seraient cloués. Les entretoises sont moisées par les sous-longerons, qui sont serrés par des boulons.

§ 3. *Pont d'Orscha.*

Le système des sous-longerons est fréquemment employé dans la construction des ponts en Russie. Nous donnons, fig. 22, pl. CXXXVI, un croquis d'une des quatre travées du pont d'Orscha, dans l'arrondissement de Mohilew, construit sur le Dnieper; nous avons figuré le plan d'une de ses piles, fig. 19. Leur écartement est d'environ 8 mètres; elles sont construites en bois carrés couchés, exactement comme dans l'assemblage que nous avons décrit pl. XXIII, fig. 6, sauf l'obliquité des rencontres des pièces pour former les avant-becs. Les longerons sont tous fortifiés par des sous-longerons, et les bois ne sont liés les uns aux autres que par de fortes chevilles qui les traversent.

Le plancher est formé de pièces de bois jointives; dans le dessin, on suppose que ces pièces sont équarrées. Sur plusieurs ponts de cette espèce, les bois formant le plancher sont ronds, comme ceux représentés dans la figure 6.

§ 4. *Ponts avec sous-longerons et moises.*

La figure 8, pl. CXXXVII, représente une disposition dans laquelle les sous-longerons, qui diminuent de longueur comme ceux de la figure précédente, sont retenus aux longerons principaux par des moises verticales qui peuvent se prolonger au-dessus du pont, dans les fermes des têtes, pour soutenir les garde-corps.

§ 5. *Ponts avec sous-longerons embrevés.*

Dans la figure 20, nous avons formé les sous-longerons de madriers de champ embrevés les uns dans les autres, et posés de telle sorte qu'ils tracent un polygone circonscrit à un arc de cercle; ils sont fixés les uns aux autres par des boulons qui les traversent tous près des embrevements. Le fil du bois de chacun est posé dans la direction du bord qui forme un des côtés du polygone, afin que les embrevements ne puissent pas éclater.

Les fermes doivent être multipliées autant que le comporte la largeur du pont; elles reçoivent immédiatement le plancher; les garde-corps sont en fer.

§ 6. *Pont de Wendiport.*

Nous donnons, fig. 24, pl. CXXXVI, d'après un dessin du capitaine Turner, le croquis d'un pont construit à Wendiport, au Thibet, en bois de térébinthe. En 1783, lorsqu'il visita ce pont, il existait déjà depuis 140 ans et était en très-bon état, sans aucun signe de pourriture quoiqu'on ne se soit servi d'aucun enduit pour le garantir des injures du temps. Les longerons superposés sont des deux côtés scellés dans la maçonnerie des culées.

La plate-forme qui couronne le pont est posée sur les bouts des longerons, qui ne sont liés entre eux que par de fortes chevilles en bois.

§ 7. *Ponceaux de Prusse.*

On trouve sur les routes de Prusse des ponceaux en charpente dont les longerons n'ont qu'un faible équarrissage et qui ne doivent leur soli-

dité qu'à des espèces d'armatures formées de poutrelles dont la force se trouve réunie à celle des longerons des têtes; ces ponceaux donnent passage à des voitures très-pesamment chargées.

La figure 20 de la planche CXXXVI est l'élevation d'un de ces ponceaux.

La figure 21 en est une coupe.

Les culées sont formées chacune d'une file de pieux contre lesquels s'appuient les madriers de champ qui retiennent les terres; ces pieux portent les chapeaux *o* qui soutiennent les longerons du plancher. Au-dessus de chaque longeron de tête *a* s'étend un autre longeron *b*, élevé au-dessus du plancher par trois cales *c*; ces longerons supérieurs sont liés aux longerons inférieurs chacun par trois boulons qui les traversent, et qui sont fortement serrés par des écrous.

Le boulon du milieu de chaque tête du pont est très-fort; il traverse, en outre des longerons, une poutrelle transversale *d*, qui s'étend par conséquent d'une tête à l'autre, et qui, un peu au delà, passe au-dessous de tous les longerons en les croisant à angle droit, et les soutient par l'effet de sa liaison avec les doubles longerons des têtes *b* et *d*.

Cette combinaison dispense d'une palée au milieu de la portée du pont, et permet d'employer des longerons d'un équarrissage plus faible que s'ils ne devaient avoir aucun soutien entre les culées.

§ 8. Pont avec armature simple.

La pièce de pont ou poutre *a*, fig. 3, pl. CXXXVII, étant réunie par une moise verticale *b* à deux arbalétriers *c*, qui lui sont assemblés par leurs pieds, il en résulte une combinaison que l'on a nommée armature, par extension de cette dénomination déjà donnée aux moyens employés pour augmenter la force des poutres, et dont nous avons parlé au chapitre XI. La propriété de cette armature est que l'équarrissage de la pièce *a*, qui n'aurait pas assez de force pour la portée que la figure représente, si elle était employée seule, pourra convenir à cette même portée, dès qu'elle sera soutenue dans son milieu par la moise qui, au moyen des arbalétriers, reporte sur les points d'assemblage de ces arbalétriers tout l'effort que la poutre peut avoir à supporter dans son milieu.

On conçoit que si un pont doit être composé de plusieurs poutres, des armatures de la forme que nous venons de décrire ne peuvent être données à toutes les poutres, vu qu'elles obstrueraient le passage.

Les armatures ne peuvent donc être établies que sur les poutres qui appartiennent aux deux têtes, et tout au plus sur une poutre répendant

au milieu de la voie lorsqu'elle peut être divisée en deux parties, et les autres poutres ou longerons soutenant le plancher sont nécessairement sans armatures. Le pont n'aurait donc aucune solidité si les longerons de remplissage n'étaient point soutenus dans quelques points de leur longueur, notamment dans celui du milieu, par une poutre transversale, posée horizontalement, réduisant la portée de ces longerons qui s'y appuient, étant elle-même, comme nous l'avons déjà vu dans les ponts de Prusse, soutenue par les armatures des têtes.

§ 9. Pont de Cismone.

Palladio paraît être le premier qui ait fait l'application de ce mode de construction pour donner aux travées des ponts une grande portée, sans qu'aucune pièce soit exposée, au-dessous du pont, au choc des corps entraînés par les eaux.

Son premier essai a été un pont de 33 mètres de portée, entre Trente et Bassano, sur le torrent de Cismone. Ce pont a été construit par un charpentier de Bergame nommé Martino; nous en donnons un dessin, pl. CXXXI, d'après celui des œuvres de Palladio. Ce pont est composé de deux fermes : l'une d'elles est représentée fig. 12; elles supportent la charge du pont sans qu'aucune pièce s'abaisse en dessous. La pièce de pont *a* porte sur les deux culées, dont une seule est représentée sur la figure; elle reçoit l'assemblage de cinq poinçons verticaux *c, d, e*, également espacés, et qui sont liés à la pièce de pont par des étriers en fer.

Une traverse horizontale *g* et deux arbalétriers *k* forment une armature sur chaque pièce de pont.

Deux contre-fiches *f* assurent la position verticale du poinçon *e* du milieu, une contre-fiche *h* et un sous-arbalétrier *i* remplissent le même objet de chaque côté à l'égard des poinçons *c*; les sous-arbalétriers *i* augmentent la force de l'arbalétrier et complètent la ferme.

Les deux fermes sont écartées d'environ 2 mètres et demi, largeur du pont qui ne sert que pour les piétons et les cavaliers; elles soutiennent ensemble les poutrelles horizontales et transversales *d* qui répondent verticalement aux cinq poinçons de chaque ferme, et leur sont liées par les mêmes étriers de fer verticaux qui traversent les pièces de pont *a* et les poutrelles *d*, et sont fixés aux poinçons : ces étriers relient les poutrelles par des clavettes horizontales traversant les boucles qui les terminent par leurs extrémités inférieures. C'est sur les poutrelles horizontales *d* que sont établis six longerons portant le plancher.

§ 10. *Pont de Vrach.*

La figure 11 est l'élevation d'un pont de trois travées, exécuté à Vrach dans le Wurtemberg, également pour les hommes à pied et à cheval. Sa largeur est de 2^m,300; il est porté entre ses culées sur deux palées composées chacune d'une file de pieux *t*; la longueur de chaque travée est d'environ 9 mètres; les arbalétriers des armatures se contre-boutent par l'intermédiaire des moises *p* et des chapeaux des palées, et leur poussée est retenue par la résistance des culées *o* qui sont en maçonnerie.

Les arbalétriers soutiennent dans chaque travée la moise verticale *p* dans laquelle passe la poutrelle transversale *r* qui supporte, conjointement avec les chapeaux des palées et les sommiers des culées, les quatre longerons qui forment le plancher sur une largeur de 2^m,14.

§ 11. *Passerelles hollandaises.*

La figure 5 est l'élevation ou projection verticale d'une passerelle pour piétons et chevaux servant de pont de halage sur le canal de navigation d'Utrecht; elle est composée de deux fermes construites en bois de sapin; sa portée est de 13 mètres.

La figure 8 est une coupe de cette passerelle par un plan vertical perpendiculaire à celui de la fig. 5, suivant la ligne *m n*. Des madriers très-épais remplacent les longerons et portent sur les culées, sur la moise horizontale *r* qui saisit les poinçons *k* des deux fermes, et sur les poutrelles *p* soutenues par les contre-fiches *s* qui maintiennent ces poinçons verticaux.

La figure 7 est l'élevation d'une autre passerelle de même portée, exécutée en bois de sapin sur le même canal, et composée de deux fermes formées chacune par une croix de Saint-André, remplissant le même but que des contre-fiches, et qui se bornerait aux deux parties inférieures; mais en prolongeant les branches de chaque croix jusqu'aux poteaux des culées, on a maintenu les poteaux verticaux et l'on a presque totalement détruit la poussée; cette combinaison est une véritable armature.

La figure 9 est une coupe de cette seconde passerelle, suivant la verticale *x y*.

§ 12. *Pont de Savines.*

La figure 23, pl. CXXXVI, représente une des deux fermes du pont de Savines, dans les Hautes-Alpes; le système de construction de ce pont se

rapporte à celui des armatures; sa largeur est de 3^m,25 (10 pieds). Les deux grandes contre-fiches *a a*, le poinçon *b* et les deux petites contre-fiches *c* forment le système auquel le pont est suspendu, par le moyen du même poinçon du milieu *b* et les deux petits poinçons *d*. Ces trois poinçons supportent par le bas trois poutrelles sur lesquelles portent quatre cours de longerons qui s'appuient par leurs extrémités sur les culées, et se réunissent au milieu du pont sur des sous-longerons *e*.

La figure 2 de la même planche est une coupe de ce pont par un plan vertical perpendiculaire à la longueur du pont, et qui a pour trace la ligne *u v*. Les culées sont formées avec des bois équarris posés en chaises. Ceux qui sont placés dans la direction de la longueur du pont répondent aux longerons en laissant cependant entre eux un écartement plus grand vers la base de la culée qu'à son sommet, et pour cette raison les grandes contre-fiches *a* sont dans des plans en talus.

Les compartiments formés par les bois qui se croisent dans les culées, sont remplis de maçonnerie seulement à l'aplomb des fondations des culées, le reste est vide et forme sous le pont des encorbellements qui suivent la pente des contre-fiches.

§ 13. *Le pont couvert de Thionville.*

Le pont sur lequel on traverse le principal bras de la Moselle, à Thionville, est composé de huit travées portées sur des piles en maçonnerie de 4 mètres environ d'épaisseur. Chaque pile présente d'un bout un avant-bec triangulaire au courant; du côté opposé, elles sont rectangulaires; elles ont chacune 11 mètres de longueur au niveau du plancher du pont; l'avant-bec est garni d'un brise-glace en talus bardé de fer.

Cinq des travées qui sont les plus grandes, sont couvertes; elles sont supportées chacune par deux fermes, chaque ferme est formée par une armature; les deux fermes de chaque travée sont écartées de 4^m,20 pour livrer passage sur le plancher du pont.

La figure 13 de notre planche CXXXVII est le dessin d'une de ces fermes. Les fermes ont 20 mètres de portée, mesure de l'écartement des piles entre leurs parements; chaque ferme considérée isolément est composée d'une poutre *a*, d'une traverse *b*, de deux poteaux *c* et de quatre contre-fiches *d*, *e*, assemblées toutes quatre par leurs pieds dans la poutre *a*. Par le haut, les contre-fiches *d* supérieures sont assemblées dans les poteaux à la hauteur de la traverse; les deux autres contre-fiches *e* sont assemblées dans le dessous de cette traverse. La poutre est liée aux deux poteaux par deux forts étriers qui l'enveloppent et dont les longues branches sont

boulonnées sur les faces de ces poteaux; les contre-fiches *d*, *e* sont liées à la poutre par des moises pendantes *f*.

Les deux fermes qui forment les deux têtes de travées, dans les emplacements où sont ordinairement les garde-corps, supportent dans le milieu de leurs traverses *b* une pièce de bois horizontale *g* qui, par conséquent, s'étend sur toute la largeur du pont; cette pièce est saisie tout près de chaque ferme par une moise verticale *i*, qui saisit aussi une poutre *h* passée en dessous de la poutre de chaque ferme.

C'est sur cette pièce et sur des sommiers couchés sur des piles que portent trois cours de longerons intermédiaires sur lesquels sont cloués deux épaisseurs de madriers pour former le plancher du pont. Sous chaque extrémité des longerons, des espèces de corbeaux *r* croisent les sommiers du dessous des piles et sont soutenus par des aisseliers. On voit que dans chaque travée ce sont les deux fermes qui portent tout le poids du pont et des fardeaux ou voitures qui le passent. Sur les piles et intermédiairement entre les fermes, des poteaux comme ceux *c* portent des traverses *k*, qui forment avec les traverses *g* autant d'entrails pour porter les petites fermes qui composent les toits dont les grandes travées sont couvertes suivant l'usage du temps fort ancien où il a été construit. Ses côtés sont clos par un boisage extérieur formé de montants et de traverses sur lesquelles des planches sont clouées verticalement; quelques rares ouvertures éclairent mal l'intérieur. Les petites travées ne sont point couvertes, elles sont portées sur de simples longerons.

Dès l'année 1730, ce pont était déjà en fort mauvais état, les réparations considérables qu'il s'agissait d'y faire, à raison de sa vétusté, furent cause qu'on mit en question s'il ne serait pas convenable de le remplacer par une construction suivant un autre système. M. Guerlonde père, qui était chef du génie militaire à Thionville, à cette époque, avait proposé de remplacer, d'un bout à l'autre du pont, les deux fermes de tête de chaque travée par des murs soutenus sur des arcs elliptiques en pierres de taille. Le diamètre des arcs aurait eu 20 mètres de longueur, et le demi-axe vertical 7 mètres environ.

L'intrados de chaque arc devait s'élever de 2^m,60 au-dessus du niveau du plancher, les murs auraient eu 1^m,30 d'épaisseur, et auraient été arasés dans toute l'étendue du pont à 2 mètres au-dessus du sommet de l'intrados des arcs. Ces murs, écartés l'un de l'autre de 6 mètres, devaient porter des poutres transversales pareilles à celles *g* de la figure 13, écartées les unes des autres de 4 mètres; c'est après ces poutres que le plancher du pont devait être suspendu par des moises pendantes verticales, comme dans le pont en charpente qui subsiste encore dans le moment où nous écrivons.

Ce projet n'a point été exécuté; nous ne le citons ici qu'à cause de la combinaison du bois et de la maçonnerie pour construire un pont et qu'il a de l'analogie avec le système des ponts suspendus et des arcs en bois que nous décrivons plus loin, et dont l'idée pourrait bien avoir été prise dans le projet de M. Guerlonde.

Le pont couvert est remplacé par un pont en pierre, de cinq arches chacune de 22 mètres de portée.

§ 14. *Pont du saut du Rhône.*

Le pont du saut du Rhône, dont une ferme est représentée, fig. 30, pl. CXXXVII, était construit suivant le système d'armatures et de contre-fiches. De son peu de durée on aurait pu conclure que ce système est mauvais, si l'on ne devait attribuer sa ruine à la disposition vicieuse des bois dans l'application qu'on en a faite. Ce pont était établi sur d'anciennes piles; la profondeur de l'eau étant de plus de 30 mètres, il n'avait pas été possible de diminuer la portée des travées qui était demeurée fixée à 33^m,80, écartement des piles. Les principales contre-fiches étaient formées de deux pièces jointes par endents; la combinaison des bois eût été assez bien entendue, si les contre-fiches principales n'eussent pas fait un trop petit angle avec l'horizon, et si à ce vice capital ne s'était pas joint le défaut d'étendue des surfaces de contact des abouts, sur les faces des pièces servant de sablières éprouvant une excessive pression résultant de la mauvaise inclinaison des contre-fiches, et ces abouts eux-mêmes s'étant détériorés par la pourriture, les grandes moises et les contre-fiches, chargées de toute la résistance, ont cédé, et la ruine du pont s'en est suivie.

M. Gaulhey remarque au sujet des vices de construction du pont du saut du Rhône, qui est tombé au bout de 14 ans, en ce qui touche la trop grande inclinaison des contre-fiches, et le contact trop restreint du bois debout contre le bois de fil, qu'il y a des exemples de ponts composés d'une manière à peu près semblable, qui, loin d'avoir subsisté pendant quelques années, n'ont pas même pu être montés et mis en place.

§ 15. *Système de Styerme.*

Le charpentier Styerme, dont nous avons parlé pages 113 et 232, à l'occasion de la construction des combles, a appliqué son système à la construction des ponts, pour déterminer les positions des pièces de bois dans différentes combinaisons qui ne sont point nouvelles, mais qu'il paraît avoir adoptées pour appliquer sa méthode de formuler des tracés.

La figure 1, pl. CXXXI, est une combinaison du même genre que celle du pont de Thionville, que nous venons de décrire. Le point *a* est déterminé par la rencontre de l'horizontale *m n* avec l'axe vertical, et la position de cette horizontale est fixée par l'intersection des cordes *k d*, *h d*, côtés d'un carré inscrit au grand cercle *k d*, *h c*, et de l'arc de cercle décrit du point *d* avec le même rayon. La rencontre des mêmes côtés avec l'horizontale *u v* détermine les positions des rayons *c p*, *c q* qui marquent, par leurs intersections avec les lignes *k a*, *h a*, l'emplacement des moises *o*, *e*. Les talus des murs des culées sont déterminés par les points *x* et *y* qui sont les intersections du grand cercle avec celui du même rayon décrit du point *c*.

La figure 2 est l'application du tracé que Styerme qualifie de *moyen géométrique* pour déterminer les positions des pièces qui doivent composer un des ponts de Palladio qui, certes, n'avait pas eu besoin de tout cet appareil de lignes, la plupart inutiles, pour déterminer les combinaisons des jolis ponts dont il est inventeur.

Les figures 3 et 4 sont d'autres applications du même système de tracé à deux compositions de Styerme qui rappellent encore le pont de Thionville, fig. 13, pl. CXXXVII, et l'un des ponts de Palladio, fig. 11, et paraissent n'être que des modifications de ces ponts que Styerme aurait choisis pour montrer comment sa méthode peut être appliquée à toutes sortes de combinaisons.

§ 16. Pont de Zurich.

On a fait en Allemagne, et notamment en Suisse, une grande quantité de ponts suivant le système du pont de Zurich. Le nombre des armatures a varié en raison de différentes portées de ces ponts. Nous avons choisi le pont de Zurich, fig. 26, pl. CXXXVII, pour servir d'exemple de ce genre de construction, parce qu'il est un de ceux dans lesquels ce système est le plus complet; cinq armatures sont réunies dans chacune des fermes, quoique la portée du pont ne soit que de 39 mètres, qui est à peine le double de celle du pont de Thionville.

Les entrants sur lesquels portent les armatures sont formés de trois cours de poutres jointes à endents; ils sont, en outre, doublés près de chaque culée par des sous-poutres également jointes à endents.

Le pont de Zurich est couvert, sa largeur entre les fermes est de 5^m,85; sous son plancher sont des pièces en diagonales qui forment les *contrevents*.

§ 17. Pont de Schaffhouse.

Le pont en charpentes, construit en 1757, par Jean-Ulrich Grubermann (1), à Schaffhouse, sur le Rhin, était un des monuments les plus extraordinaires de l'époque, et fort supérieur à tout ce qui avait été fait en France où l'art de la construction des ponts était resté stationnaire dans des combinaisons très-défectueuses.

Ce beau pont, dont nous donnons une élévation fig. 35 de notre pl. CXXXVII, avait remplacé un pont en maçonnerie qui s'était écroulé; il a été brûlé pendant la guerre, en 1799.

Ce pont était du genre de ceux que les Allemands appellent *hangwerck* ouvrage pendant ou en *pendentif*, dont Grubermann est à juste titre regardé comme l'inventeur, surtout à cause de la belle application qu'il en aurait faite au pont de Schaffhouse.

Ce pont était composé de deux travées, l'une de 51^m,97, l'autre de 58^m,80. Cette inégalité des travées paraît provenir de ce que Grubermann avait voulu profiter d'une pile de l'ancien pont restée debout, presque au milieu du fleuve, pour y appuyer le point de réunion des deux travées qui n'étaient point dans la même direction, et formaient un angle dont la flèche était d'environ 2^m,60.

La figure 32 est une coupe verticale sur le milieu de l'une des deux travées.

Les fermes des têtes étaient écartées de 5^m,52. La poutre principale formée de la réunion de deux cours de sapins assemblés à endents avait 0^m,43 d'épaisseur horizontale sur 0^m,89 de hauteur. Les armatures, au lieu d'être, comme dans le système précédent, presque concentriques, étaient composées de façon que les parties horizontales se touchaient immédiatement sous la sablière portant le toit, ce qui était propre à augmenter leur force de résistance.

Les contre-fiches étaient en bois de chêne. En même temps que les moises verticales soutenaient la poutre principale formant entrait, elles fortifiaient les contre-fiches et les empêchaient de plier. Ces moises étaient espacées de 5^m,66 de milieu en milieu, des solives transversales étaient assemblées à leurs extrémités supérieures et inférieures, et s'y

(1) On lit dans quelques descriptions du pont de Schaffhouse, que J. U. Grubermann était un simple charpentier de village, comme si l'on eût voulu, par cet indice, augmenter le merveilleux de la construction du pont.

J. U. Grubermann était né à Tuffen, ville de 3,300 âmes, du canton d'Appenzell, ce qui ne diminue en rien le mérite de la construction du pont de Schaffhouse, qui a toujours été regardé comme l'œuvre d'un homme d'un grand talent, avec d'autant plus de raison que rien n'avait mis Grubermann sur la voie de ce système nouveau de construction, qui était une création de son génie.

trouvaient retenues par des liens en fer; elles retenaient l'écartement des fermes. Celles supérieures soutenaient les fermes du toit de ce pont, qui était couvert; celles inférieures portaient le plancher concurremment avec d'autres solives intermédiaires attachées aux grandes poutres.

On a prétendu que Grubenmann, pour montrer la puissance de son art, avait construit ce pont de telle sorte qu'il ne portait point sur la pile du milieu, et que les magistrats avaient exigé que le pendentif fût calé, de façon à porter complètement sur cette pile. Cette version est peu probable, vu que le pont n'étant point en ligne droite, formant au contraire un angle, et le centre de gravité ne se trouvant pas dans la ligne joignant les milieux des deux culées, on l'eût exposé à un mouvement de torsion résultant de son poids. La disposition des contre-fiches qui répondent au milieu du pont, et l'angle qu'il fait sur la pile, prouvent assez que Grubenmann comptait sur l'appui de cette pile; on peut présumer qu'il aurait laissé un espace suffisant pour que, par un tassement du pont qu'il prévoyait sans doute, les assemblages pussent se serrer suffisamment, après quoi il se réservait, comme cela a eu lieu, de caler cette portée du pont. On prétend encore qu'après la construction du pont, on eut la crainte que la pile vînt à manquer, et Grubenmann ajouta de longues contre-fiches que nous avons marquées en lignes ponctuées, parce que si elles étaient tracées pleines, elles dépareraient la symétrie du pont: il est probable toutefois que l'habile Grubenmann ne se décida à un tel parti que pour condescendre aux importunités de l'ignorance; car il n'est pas admissible que si la pile eût manqué, ce faible auxiliaire aurait suffi pour arrêter la chute du pont.

Lors de la construction du pont, les sommiers qui portent les fermes sur la pile n'avaient pas été faits avec du bois de chêne assez sec ni assez dur; ils ne se trouvaient point assez isolés de la pierre par des cales; ces sommiers pourrèrent: il en était résulté un affaissement inégal dans le pont, il fallut les remplacer. Grubenmann n'existait plus. Un charpentier de Schaffhouse, nommé George Spingler, fut chargé de leur remplacement difficile; il y parvint en soulevant toute la masse du pont, de 41 centimètres, avec des vérins placés sur des échafaudages établis sur pilotis.

Ce fut la seule réparation qui fut faite à ce pont pendant les quarante-deux années qu'il a existé. Son extrême solidité était éprouvée, puisqu'il donnait passage à des voitures excessivement chargées, telles que celles qui transportent des pierres pour des bassins de fontaines, qui pèsent plus de 25,000 kilogrammes.

Quelque ingénieuse que fût la combinaison du bois dans la construction de ce pont, et peut-être à cause de cela, car on veut trouver quelques défauts

aux choses les mieux faites, on lui a reproché un vice, dit-on essentiel, qui consiste dans ce que toutes les pièces sont tellement nécessaires au soutien les unes des autres, qu'il était impossible d'en changer une seule sans étayer le pont. C'est un défaut qui existe dans bien d'autres ponts, et il est difficile de concevoir un moyen de l'écartier, même dans les ponts les mieux conçus; c'est un défaut que l'on dit avoir été évité dans le pont qui fait l'objet de l'article suivant.

§ 18. *Pont de Wittengen.*

Le pont de Wittengen avait été construit sur le Limmat, près de l'abbaye de Wittengen, en 1778, par Jean-Ulrich Grubenmann, auteur du pont de Schaffhouse, et son frère Jean Grubenmann. Il fut, comme celui de Schaffhouse, brûlé en 1799 (1). Il avait une portée de 118^m,89, qui était de 8 mètres environ plus grande que celle des deux travées réunies du pont de Schaffhouse, et cependant sans aucun autre support quelconque que les culées sur lesquelles il s'appuyait. C'est à M. Chrétien de Mechel, graveur à Bâle, que l'art doit la conservation du dessin de cet admirable pont, qui, malgré la hardiesse de sa construction, était moins connu que celui de Schaffhouse (2); c'est d'après lui que nous donnons, figure 1 de la planche CXXXIV, le dessin de la moitié du pont de Wittengen.

La figure 2 est le plan de ce pont, pris immédiatement en dessus du solivage du plancher, formé par la combinaison de ses contrevents.

La figure 3 est une coupe verticale du pont devant la moise *D*.

La figure 4 est la coupe devant le premier châssis d'entrée, en dedans du pont.

Ces deux coupes montrent en même temps la structure de la couverture.

Quoiqu'on ait dit que les Grubenmann avaient corrigé dans ce pont l'inconvénient qu'on avait prétendu signaler dans celui de Schaffhouse, nous voyons que ces inconvénients qu'on ne peut éviter y subsistent, et que l'on ne peut remplacer aucune pièce, sinon les moises, sans étayer l'édifice; mais on remarque une meilleure combinaison dans la disposi-

(1) Ce pont a depuis été reconstruit suivant un autre système. Voyez ci-après la note de l'article 3 du paragraphe relatif au pont de Mellingen.

(2) *Plans, coupes et élévation des trois ponts de bois les plus remarquables de la Suisse*, publiés d'après les dessins originaux. Bâle, 1803.

tion, le nombre et la force des contre-fiches, quelques-unes étant formées par la réunion de pièces assemblées à endents ; nous remarquons encore qu'on a profité de la ferme *sous-faite* du long toit qui couvre le pont pour la faire concourir comme les fermes latérales des têtes à la solidité du pont, de sorte qu'on peut dire qu'il est composé de trois fermes.

On remarque enfin dans les détails un excellent moyen de donner plus de solidité aux assemblages qui consiste à substituer aux simples *abouts* ou embrèvements, des abouts de toute l'épaisseur des pièces par le moyen de tasseaux *v* assemblés sur une assez grande longueur par endents et boulonnés sur les pièces qui doivent recevoir l'assemblage, de façon que ces tasseaux forment autant de talons contre lesquels les contre-fiches viennent abouter, et où elles trouvent une résistance que ne leur auraient point offerte les simples embrèvements. Ces tasseaux ont probablement fourni le modèle de ceux qu'on a employés depuis dans des charpentes modernes, et ils ont donné l'idée de ceux en fer coulé qu'on leur a substitués, dans ces derniers temps, et dont nous avons parlé page 274.

Le pont de Wittengen présente une heureuse réunion de l'emploi des contre-fiches en dessous de l'entrait et même en dessous des sablières du comble avec l'emploi des contre-fiches en dessus comme armatures. Les moises verticales en réunissant toutes les contre-fiches de chaque demi-ferme augmentent considérablement leur force en même temps qu'elles soutiennent la principale pièce du pont et le plancher.

Pendant un temps on a reproché au système de construction de ce pont une sorte de profusion de l'emploi du fer, à cause des nombreux et très-longs boulons en fer dont les Grubenmann ont fortifié ce système, à cause du danger de leur prompt détérioration par l'effet de l'action d'une atmosphère constamment humide. Il est probable qu'un pareil reproche ne leur serait peut-être point fait aujourd'hui qu'on emploie le fer avec un si grand succès dans les constructions en charpente. Mais à cette critique on peut répondre qu'il est plus facile de remplacer des boulons usés par la rouille que des bois détériorés; d'ailleurs les Grubenmann ne pouvaient pas remplacer les boulons par des moises, sans augmenter le poids de la charpente. L'excessive grandeur de la portée, qui était un des mérites de ce beau pont, avait inspiré des craintes sur sa durée; malheureusement les événements de la guerre ont privé l'art d'une expérience sur laquelle on ne peut rien préjuger. Mais ce qui demeure positif, c'est la gloire acquise au génie des Grubenmann, d'avoir contribué, par la hardiesse de cette savante construction, à reculer les limites de la puissance des armatures dans les ponts en charpente.

§ 19. *Pont du sieur Claus.*

Une conception encore plus hardie fut le sujet d'un modèle exposé en 1772, à l'hôtel d'Espagne, rue Dauphine, à Paris, par le sieur Claus, maître charpentier. Ce modèle, exécuté avec une rare perfection, pour milord Hewey, représentait, sur une échelle de 18 lignes pour une toise (un quarante-huitième), un pont en charpente d'une seule arche qui aurait eu 900 pieds d'ouverture (150 toises, 292^m,355) : il était projeté pour être exécuté sur la Dery. Ce pont fut gravé par Lerouge; la gravure le représente sur une échelle dont le rapport est à peu près d'un trois cent soixante-troisième. Nous donnons deux fragments de cette gravure et sur la même échelle, qui suffisent pour donner une idée complète de la composition du sieur Claus.

La figure 5, pl. CXXXIV, est l'élévation d'une des extrémités du pont, représentant la partie d'une des deux fermes des têtes joignant des culées, avec la projection des pannes et des chevrons du toit.

La figure 7 est une coupe en long de l'autre extrémité du pont, joignant la seconde culée et montrant la ferme du milieu partageant la largeur du pont, qui devait être de 46 pieds (7 toises 4 pieds; 16^m,57) en deux voies égales. La partie inférieure de cette ferme répond aux deux autres qui forment les têtes du pont; sa partie supérieure est comprise sous le faîtage dans la hauteur du comble.

La figure 6 est une coupe en travers du pont devant l'une des moises auxquelles nous avons terminé les figures 5 et 7.

Le système de construction de ce pont est une suite de contre-fiches qui forment toutes des armatures. Des moises verticales formées de la réunion de quatre pièces soutiennent les grandes poutres et les pièces du pont portant dix cours de longerons du plancher sous chaque voie.

Les contrevents sont établis sous chaque voie suivant les deux diagonales des rectangles formés par les longues poutres du pont et les poutres établies entre les moises verticales. Deux boulons verticaux sont établis entre les moises verticales dans les deux fermes des têtes, et un seul entre les moises de la ferme du milieu. Quoique ces boulons paraissent contribuer à la solidité du pont, il est probable qu'ils ont été placés principalement pour faciliter le levage et soutenir les pièces horizontales pendant la pose des moises.

La gravure dont nous avons extrait ces figures contient, sur une échelle trois fois plus grande, des détails des assemblages en perspective. Nous ne les avons pas figurés, parce que ces assemblages ne présentent rien de particulier.

J'ai représenté, fig. 8, une élévation générale de ce singulier projet, pour donner une idée de son immense étendue. Ce pont devait être revêtu en planches, son intérieur eût été éclairé par un grand nombre de fenêtres, ménagées dans le toit, et par quatre lanternes octogonales et vitrées, en forme de clochetons, qui devaient couronner le comble; les pilastres de ces clochetons devaient être ornés de sculptures représentant sous forme de gaines, des sirènes ailées.

Pour donner plus de force à la partie formant le milieu horizontal du pont, la charpente aurait formé un pendentif entre les sept moises verticales du milieu. En dessous de la poutre la plus basse, des contre-fiches étaient disposées dans des sens contraires de ceux des contre-fiches correspondantes des fermes, et venaient se contre-butter dans la moise verticale du milieu.

§ 20. *Système de M. Town.*

Nous devons ranger parmi les ponts à armatures, le nouveau système inventé par M. Ithies Town, de New-Haven, architecte à New-York, appliqué aux ponts viaducs des chemins de fer, en Virginie. Nous en donnons un dessin dans notre planche CXXXVI. La figure 18 est une élévation d'une des dix-neuf travées du viaduc de Richemond, sur le chemin de fer de cette ville à Pétersbourg, en avant de la cataracte des James Rivers. Cette figure est sur une échelle moitié de celle gravée au bas de la planche.

Chaque travée a 46^m,66 de portée, écartement des piles en maçonnerie de granit, mesuré de milieu en milieu. Quoique cette portée ne soit pas le double de celle du pont de Vellingen, dont nous avons parlé ci-dessus, et qu'elle soit d'un quart plus petite que celle du pont de la Rott, construit en Bavière par M. Wiebeking, elle n'en met pas moins en évidence l'habileté des charpentiers américains, qui, d'ailleurs, ont été souvent favorisés par les dimensions gigantesques des bois que la nature leur fournit, et qui ont dû les enhardir dans les constructions de ce genre.

Ce pont est construit sans boulons ni ferrures.

La figure 9, pl. CXXXVI, est une élévation, sur une échelle double, qui donne le détail de la construction d'une partie du pont correspondant à une pile. La portion *A* de cette figure montre le revêtement en planches qui garantit la charpente des injures du temps et de la trop vive action du soleil. En *B*, la charpente est représentée dépouillée de son revêtement; en *C*, on a représenté les frises qui couvrent les abouts des solives.

La figure 13, qui est au-dessous de la précédente, et qui lui correspond comme étant sa projection horizontale, représente trois parties du plan; en *A'*,

on a projeté le plancher du pont, qui en occupe la partie supérieure, et qui porte les rails de deux voies. On voit en *B'*, la partie supérieure de la charpente, dépouillée de planches. En *C''* on n'a figuré que la partie inférieure de la charpente. On voit sous le plancher *A'* la projection d'une pile en lignes ponctuées; en *B'* et *C''*, on a marqué les projections des croix de Saint-André qui forment les contrevents.

La figure 8 est une coupe par un plan vertical perpendiculaire à la longueur du pont.

On voit, par ces trois figures, que le pont est composé de deux fermes de tête, qui en soutiennent tout le poids ainsi que celui des convois qui passent dessus, et que chacune de ces fermes est une véritable armature constante de forme suivant toute la longueur du pont. Ce système, dans chaque ferme, se compose de deux réseaux qui ont beaucoup de ressemblance, quant à la forme, avec celui qui sert de contrevent et de solivage au plancher du pont de Mellingen, pl. CXXXIV. Ces deux réseaux résultent chacun de la combinaison de madriers de champ qui se croisent sous un angle peu différent de l'angle droit, et qui forment ainsi cinq rangs de losanges. Les madriers sont fixés les uns aux autres par deux gournables (chevilles de bois) qui les traversent sur toutes leurs épaisseurs à chaque point où ils se croisent; ces gournables sont coincés des deux bouts. Chaque réseau est moisé par trois rangs d'entrants, un en haut, deux en bas, qui s'étendent dans toute la longueur du pont. Ces entrants ou poutres horizontales, sont composés de six épaisseurs de madriers de champ également chevillés, dont chaque couple forme un élément de moise. Ces moises horizontales, qui forment les entrants, ont 0^m,76 d'épaisseur sur 0^m,33 de largeur; et, comme elles règnent sur toute la longueur du pont, il en résulte que chaque rive est formée par une seule ferme de 867 mètres de longueur, portant, comme une poutre unique, sur dix-huit piles et deux culées.

Les croix de Saint-André réparties sur la largeur du pont, et qui sont représentées dans la figure 8, maintiennent la position rectangulaire entre les grandes fermes verticales et le solivage horizontal, et, conjointement avec les assemblages en réseaux, la stabilité du viaduc.

Dans les premiers ponts faits suivant ce système, le plancher du pont sur lequel sont les rails était porté par un solivage répondant aux entrants inférieurs, et les entrants supérieurs portaient une toiture qui transformait cette construction en pont couvert. On a préféré, pour les viaducs des chemins de fer, établir le plancher dans la partie supérieure, afin de se ménager les moyens d'augmenter, au besoin, les pièces de charpente dans l'épaisseur du pont, et d'y établir les croix de Saint-André, si nécessaires à la stabilité.

On prétend que les ponts construits suivant ce système, ont, sur ceux construits sur des cintres, comme viaducs pour des chemins de fer, une grande supériorité, qui consiste principalement en ce qu'ils sont moins élastiques que ces derniers, sur lesquels, lorsque leurs arches ont une grande portée, les convois ne peuvent passer qu'en ralentissant leur marche, tandis que sur ceux construits suivant le système de M. Town, les convois peuvent conserver toute la vitesse que leur donne la puissance de la vapeur.

Plusieurs ponts sont construits en Amérique suivant ce système, pour l'usage ordinaire.

IV.

PONTES AVEC ARMATURES ET CONTRE-FICHES.

§ 1. *Passerelles.*

La figure 4, pl. CXXXVII, représente le cas le plus simple de la combinaison des armatures avec les contre-fiches. La passerelle, fig. 6, est une modification de cette combinaison.

§ 2. *Pont de Palladio.*

Le pont de Palladio, représenté fig. 11 de la même planche CXXXVII, est aussi une modification de la même combinaison.

§ 3. *Autre pont de Palladio.*

Dans le pont représenté fig. 7, pl. CXXXVII, Palladio a combiné trois armatures dans chaque ferme de tête, et l'armature du milieu forme, par ses prolongements au-dessous du plancher du pont, des contre-fiches comme celles du pont représenté fig. 4.

§ 4. *Pont de la Kandel.*

Le pont construit sur le torrent de Kandel, dans le canton de Berne, en 1764, par un charpentier de Lucerne, nommé Joseph Ritter, a 50^m,70 de portée; les deux fermes qui se soutiennent sont écartées l'une de l'autre de 4^m,60 de milieu en milieu. Ce pont est couvert. Nous en don-

nous le dessin, fig. 24 de la planche CXXXVII; il présente la combinaison des armatures en décharge avec des moises pendantes *g*, qui embrassent, dans chaque ferme, la pièce de pont *a*, et les contre-fiches *d*. Les poutres transversales sont assemblées, à queues d'hironde, sur les poutres longitudinales *a*, entre les moises pendantes *g*; elles sont comprises dans l'épaisseur des poutres, et elles reçoivent les madriers du plancher sous lequel sont des croix de Saint-André établies suivant les diagonales des rectangles formés par les poutres. Ces croix de Saint-André servent de contrevents.

En travers du pont, au-dessous du plancher, et entre les moises verticales *g* des deux fermes, sont d'autres croix de Saint-André, qui ont pour objet de servir de contrevents verticaux.

Les contre-fiches, qui forment aussi armatures, sont en bois de sapin; elles n'ont pas moins de 32 centimètres d'équarrissage. Les grandes pièces du pont sont un peu inclinées, afin de donner au pont un bombement pour prévenir le tassement ou au moins pour empêcher son apparence; elles sont liées par une sous-poutre *f* au milieu de la travée.

§ 5. Pont de M. Gauthey.

Nous donnons, fig. 33, pl. CXXXVII, le dessin d'un pont de M. Gauthey, dans lequel se trouvent les mêmes combinaisons appliquées également à une portée de 50 mètres, et dans lequel la faible inclinaison donnée aux contre-fiches, a forcé de les rapprocher, et de leur donner une autre disposition. Ce pont avait été projeté pour être exécuté à Lyon, sur la Saône; il devait être couvert, et être porté sur des piles en maçonnerie. Vu que le pont devait être très-fréquenté, M. Gauthey proposait de le composer de trois fermes égales, une sur chaque tête, et la troisième sur l'axe du pont, qui aurait partagé sa largeur en deux voies indépendantes. Cette disposition aurait permis de lui donner une largeur plus grande que celle usitée et proportionnée à l'activité de la communication qu'il devait établir.

V.

PONTS AVEC ARMATURES ET CROIX DE SAINT-ANDRÉ.

§ 1. Pont de Palladio.

La figure 16 de la planche CXXXVII, représente un pont du genre de celui

de Cismone, que nous avons décrit ci-dessus, page 388. Palladio a formé des croix de Saint-André, en ajoutant, entre chaque poinçon, des secondes décharges qui croisent les premières, et les arbalétriers supérieurs forment les armatures; du reste, ce pont est exactement construit, quant aux détails de l'assemblage, comme celui de Cismone; mais Palladio a composé un pont dans lequel, pour la première fois, une combinaison de compartiments présente un système semblable à celui des vousoirs d'une voûte en pierres. Nous donnons, d'après le trait qu'il a mis dans ses Œuvres, la figure 15, pl. CXXXVII, qui représente ce système.

On voit que, dans ce mode de construction, la cause de la stabilité du pont est de la même nature que celle des voûtes; elle peut être augmentée par des liens en fer. Les poinçons tendent au centre de l'arc. Les croix de Saint-André maintiennent la stabilité de figure de chaque compartiment. Les cintres peuvent être formés chacun d'une seule pièce courbe; dans ce cas, les poinçons doivent être des moises qui lient les cintres entre eux. Le plancher du pont peut être formé de poutrelles assemblées dans les arcs inférieurs. Malgré la solidité de cet ingénieux système, il ne paraît pas que Palladio l'ait fait exécuter (1).

§ 2. Pont Saint-Clément.

Le joli pont Saint-Clément, sur la Durance, réunissait le système des ponts soutenus par des contre-fiches, et celui des ponts suspendus à des armatures. Nous donnons, figure 12 de la planche CXXXVII, une élévation de ce pont, qui n'existe plus.

(1) Après la mort de M. Perrault, docteur en médecine, et membre de l'Académie royale des Sciences, on a publié en 1700, un recueil de quelques machines de son invention, dans lequel on trouve le projet d'un pont en bois d'une seule arche, qu'il proposait de construire sur la Seine devant Sèvres. Ce pont aurait été formé de vousoirs d'assemblages en bois, au nombre de dix-sept, et accolés les uns aux autres dans cinq fermes; chaque vousoir devait former un châssis; les châssis auraient été liés les uns aux autres par trente-six moises horizontales, et transversales par rapport au pont; il y aurait eu deux moises sur chaque couple de montants ainsi réunis, et les moises auraient, par conséquent, lié les cinq fermes entre elles; les montants des fermes des têtes se seraient élevés au-dessus du plancher du pont pour former les garde-corps.

Pour contreventer le pont, M. Perrault donnait une courbure aux fermes, sur leur projection horizontale, de sorte qu'elles devaient occuper à leur naissance sur les culées, un espace plus grand que la largeur du pont au milieu de sa longueur.

La flèche de l'arc intérieur devait être du dixième de la portée du pont; l'épaisseur du châssis au sommet de l'arc, du tiers de cette flèche; et la hauteur de l'occupation des fermes sur les culées, le double de cette épaisseur.

La figure 5, même planche, est une coupe faite par un plan vertical sur le milieu de sa portée. Les fermes des têtes formaient des armatures avec contre-fiches, moises et croix de Saint-André, et les trois fermes intermédiaires ne s'élevaient point au-dessus des longerons qu'elles supportaient.

Il est présumable que, vu la grande inclinaison des contre-fiches après le tassement, le pont devait être presque entièrement porté par les armatures des fermes des têtes.

VI.

PONTS SUSPENDUS A DES CINTRES.

§ 1. *Pont de Custrin.*

Les différentes combinaisons des pièces de bois dans les armatures, ont fait naître l'idée de leur substituer des cintres ou arcs pour produire les mêmes résultats.

L'une des plus simples constructions de ce genre est, sans contredit, le pont de Custrin, sur l'Oder, dans lequel des pièces de bois cintrées sont substituées aux longerons de têtes, qui forment armature dans le ponceau que nous avons décrit, page 386.

Nous donnons, fig. 11 de notre planche CXXXVI, un croquis d'une travée de ce pont, remarquable par la simplicité de sa construction et sa solidité, puisqu'il donne passage aux voitures les plus pesamment chargées.

La figure 12 est une coupe de la même travée.

Chaque palée est composée de trois files de pieux *e*; les chapeaux *b* qui les couronnent sont tous au même niveau; les palées sont écartées d'environ 13 mètres; les longerons *a* portent dans les entailles des chapeaux, et ils répondent aux pieux des palées.

Vers les deux rives du pont, sont trois sortes de chantiers horizontaux *b*, qui portent sur les deux premiers longerons, et qui répondent verticalement au-dessus des chapeaux des palées, et leur sont parallèles; ils sont assemblés avec les longerons par entailles réciproques, du huitième de l'épaisseur des bois.

Sur chaque travée et de chaque côté du pont, une poutre de bois de chêne *k*, d'un très-fort équarrissage, et cintrée naturellement, repose par chacun de ses bouts sur les chantiers *d*; elle s'y assemble par entailles. Toutes les poutres des travées sont entières; elles se touchent

par leurs bouts et sont sur le même alignement, où elles forment des garde-corps des deux côtés du pont. Elles sont liées par des boulons avec les chantiers, et ceux-ci le sont aussi par des boulons avec les longerons et les chapeaux.

La portée des longerons est partagée, dans chaque travée, en trois parties égales, et, sous chaque point de division, une poutrelle horizontale *g* est suspendue, par un très-fort boulon en fer, à chacune des deux poutres cintrées *k*.

Ces poutrelles croisent en dessous tous les longerons, et, par ce moyen, elles les soutiennent tous dans deux points de leur portée, qui, sans ces auxiliaires, serait trop longue par rapport à leur équarrissage.

Le plancher est établi en forts madriers jointifs, solidement fixés sur les longerons par des broches.

§ 2. *Pont de Feldkirch.*

Le pont de Feldkirch, sur le Rhin, est un des plus anciens dans lequel on ait employé des cintres pour y suspendre le plancher.

Nous donnons, fig. 23 de notre planche CXXXVII, un croquis de ce pont, qui était composé de deux grandes fermes de têtes d'une seule portée de 19^m,50. Les armatures des ponts de Suisse, que nous avons précédemment décrits, sont remplacées dans ce pont par deux cintres dans chaque ferme. Chaque cintre est formé de deux cours de courbes à dents. Ces cintres sont réunis par des moises verticales qui soutiennent le plancher du pont, par le moyen d'autres moises horizontales qui saisissent les premières par leurs bouts inférieurs, et passent sous les longerons.

Ce pont est couvert, et revêtu extérieurement en planches des deux côtés.

§ 3. *Pont de Mellingen.*

Le pont de Mellingen est le premier grand pont de ce genre qui ait été fait (1). Il date de 1794; il a été construit par Ritter, charpentier de Lucerne, que nous avons déjà cité, au sujet du pont de la Kandel.

(1) M. Rondelet croit que le premier pont de ce genre est celui qu'un des frères de Grubenmann construisit pour remplacer le pont de Wittengen; mais il faut remarquer que le pont de Mellingen a été construit en 1794, et que le nouveau pont de Wittengen ne l'a été qu'en 1799. Ce n'est donc que postérieurement au pont de Mellingen que le frère de Grubenmann a exécuté le nouveau pont de Wittengen; il faut encore remarquer qu'on voit dans ce dernier pont des corrections qui prouvent qu'il n'a été fait qu'après celui de Mellingen.

Nous en donnons le détail, pl. CXXXV; la figure 1 est son élévation. Comme dans les ponts à armatures, le plancher est soutenu par deux fermes, dans chacune desquelles un beau cintre *A*, composé de sept cours de courbes jointes à endents, est la principale pièce.

L'ouverture de cette espèce d'arche est de 48 mètres; son développement est un sixième de la circonférence, dont le rayon est égal à cette même ouverture. Ce pont est couvert et revêtu, sur ses deux faces extérieures, par des planches, que nous avons supposé enlevées pour laisser voir la charpente.

Les dix moises verticales *B* soutiennent le toit et les moises horizontales *H* sur lesquelles les longerons sont appuyés.

Une poutre cintrée *E*, en forme de moise, composée de plusieurs pièces entées, saisit aux extrémités les deux naissances du cintre et toutes les moises verticales; elle se trouve au niveau des longueurs du plancher et suit leur pente.

Une autre moise cintrée *M*, sur une courbure moindre que celle de l'arc principal, réunit les assemblages des moises verticales prolongées jusqu'à sa rencontre: on ne conçoit pas bien quel est le but de cette dernière moise cintrée, qui charge la charpente d'un poids assez considérable. Cependant en considérant que ce cintre de peu de courbure reçoit les moises verticales, et qu'il est lié à la poutre principale par des boulons, on peut présumer que Ritter aura voulu en faire comme le tirant de la ferme, son extension devant être moindre que celle du grand arc.

La figure 2 présente le plan du pont pris à deux hauteurs différentes. A gauche est le plan fait à la hauteur d'une ligne brisée *a b* tracée sur la figure 1. On suppose que les madriers du plancher sont enlevés pour laisser voir les longerons, et au-dessous d'eux le double système des croix de Saint-André qui forment les contrevents.

Sur la droite, le plan représente la projection horizontale de la charpente du comble dépouillé de ses lattis.

La figure 3 est l'élévation d'une des entrées du pont.

La figure 4 est une coupe sur le milieu de sa longueur, dans la ligne *C D*.

Dans la construction du nouveau pont de Wittengen, que Rondelet dit avoir été construit à la place de celui qui fut brûlé en 1799, l'un des frères de Grubenmann qui l'a construit, a évidemment fait d'utiles corrections dans la composition qu'il a imitée du pont Mellingen. M. Krafft a donné un dessin de ce pont, pl. XXVIII de son recueil de charpenterie; nous ne le reproduisons point, parce qu'il ne diffère que peu de celui de Mellingen que nous venons de décrire. Les seuls changements qui ont été faits consistent dans la suppression du second arc inférieur *M*, dans la rectitude de la poutre longitudinale *E*, à laquelle une sous-poutre a été

ajoutée dans le milieu de sa longueur, et seulement sur la moitié de cette longueur. Cette sous-poutre forme une des cordes du cintre, et deux contre-fiches qui, partant des naissances du cintre, viennent s'y abouter.

Les croix de Saint-André des contrevents s'assemblent dans les longerons, et elles sont assez multipliées pour former le solivage du plancher.

Krafft annonce que ce pont avait 31 toises ($60^m,42$) de portée; il le présente établi entre deux culées de maçonnerie. Cependant, l'ancien pont de Wittengen que celui-ci aurait remplacé, suivant Rondelet, avait 366 pieds ($118^m,89$) de portée; il est certain que c'est à la même place que le nouveau pont a été construit: il faut présumer qu'il a au moins deux travées, et qu'il est porté sur une pile au milieu de la rivière.

M. Stadler, maître charpentier de Zurich, a construit en 1825, sur le Rhin, à Elisgaw, en Suisse, un pont du même genre que celui de Mellingen et du nouveau pont de Wittengen. Il est également porté par deux fermes dans chacune desquelles un arc composé de huit cours de courbes forme la principale pièce de l'armature et le moyen de suspension. Nous ne donnons point le dessin de ce pont, qui s'écarte peu du système suivi dans celui de Mellingen dont nous venons de donner la description; nous regardons comme suffisant d'indiquer les points les plus remarquables dans lesquels il diffère du précédent.

La portée des travées est d'environ $46^m,78$, la flèche du cintre est de $6^m,82$; le sommet de l'intrados de l'arc est élevé de $3^m,898$ au-dessus du plancher du pont, ce qui a permis de placer entre le grand entrait et l'arc une double armature qui s'accorde avec les contre-fiches du dessus du pont. Onze moises verticales sont réparties sur la longueur de la portée, et deux sur chaque pile, écartées de $2^m,924$ de milieu en milieu.

Ce pont est couvert: il est à trois voies; celle du milieu, comprise entre les fermes qui portent les cintres, est destinée aux voitures; elle a $4^m,558$ de large entre les moises verticales. Les deux autres voies sont pour les piétons, elles n'ont que $1^m,624$ environ; elles sont portées par les prolongements des moises horizontales faisant office de solives; les longerons qui portent ces deux espèces de trottoirs sont soutenus par des armatures égales à celles dont nous venons de parler, qui sont placées sous ces trottoirs, d'ailleurs compris sous les prolongements de la toiture de la voie du milieu.

Rondelet a donné un dessin de ce pont, pl. CIV de son *Traité de l'Art de bâtir*.

§ 4. *Pont du Necker.*

Le système des *hang-werck*, au moyen de cintres, a été appliqué à la construction d'un pont de 19^m,49 de portée, sur un bras du Necker, dans le Wurtemberg, près de Stuttgart, capitale de ce royaume; nous donnons d'après M. Krafft le dessin de ce pont dans la fig. 6 de notre pl. CXXXI, qui le représente en élévation.

La figure 10 en est une coupe suivant un plan vertical dont la trace est la ligne *m n*, fig. 6.

Dans cette dernière figure, la ligne *x y* est le niveau des plus hautes eaux du Necker. Ce pont a fourni à M. Leather, ingénieur anglais, l'idée du pont qu'il a construit en fer, composé de deux arcs en fonte auxquels sont suspendues, par des tiges verticales, les poutrelles qui soutiennent le plancher (1).

VII.

PONTS PORTÉS SUR DES CINTRES EN CHARPENTE.

L'invention des ponts en charpente portés sur des cintres également en charpente est beaucoup plus ancienne que celle des ponts suspendus à des cintres, néanmoins nous en parlons après ceux-ci, parce qu'elle a donné lieu, seulement dans les derniers temps, à des combinaisons plus perfectionnées, qui méritent plus de confiance et qui présentent plus de sûreté qu'aucun système des ponts suspendus à des armatures ou à des arcs de cercle; car dans ces derniers la chute du plancher peut résulter de la rupture d'une des pièces servant à la suspension, les bois ayant à résister à une force de traction, tandis que dans les combinaisons qui font l'objet de ce paragraphe, les bois n'ont à résister qu'à des pressions dans la direction de leurs fibres.

(1) Le dessin de ce pont se trouve dans le journal *la Propriété*, 2^e année, 2^e série, t. 2, pl. XXI, p. 67.

§ 1. *Pont de Trajan.*

Le pont en charpente, porté sur des cintres, le plus ancien est celui connu sous le nom de pont de Trajan, que cet empereur fit jeter sur le Danube dans la Basse-Hongrie, lors de sa deuxième expédition contre les Daces. Dion Cassius prétend que ce pont était en pierre, ce qui n'est pas supposable; les cinq travées de ce pont, représentées dans les bas-reliefs de la colonne Trajane à Rome, sont figurées en charpente (1).

C'est d'après ces bas-reliefs, dont la fidélité dans les détails est reconnue en tous points, que ce pont est représenté dans différents ouvrages, notamment dans ceux de Gauthey et de Rondelet auxquels nous avons emprunté la figure 14 de notre pl. CXXXVII, et dont nous avons reconnu l'exactitude en les comparant aux gravures publiées qui représentent lesdits bas-reliefs.

La colonne Trajane a été érigée en l'honneur de l'empereur Trajan qui mourut à Sélinonte, en 117, avant de l'avoir vue achevée. Appollodore de Damas est regardé comme l'auteur de ce magnifique monument et probablement des bas-reliefs qui le décorent; et comme c'était aussi cet illustre architecte qui avait jeté le gigantesque pont de Trajan sur le Danube, on doit reconnaître que le pont figuré sur la colonne en est une copie authentique.

On ne doit appliquer ce que Dion dit de ce pont qu'à la construction des piles, qui étaient effectivement en pierre. Ce pont était composé de vingt travées qui avaient 170 pieds de portée, environ 55 mètres; on prétend qu'il s'élevait de 300 pieds, 97^m,50. Il fut détruit par l'empereur Adrien successeur de Trajan, dans la crainte que les Barbares en profitassent pour pénétrer sur le territoire de l'empire romain : on voit encore quelques restes de ses piles.

Rondelet remarque, au sujet de la grande portée des travées de ce pont, que si l'on s'en rapporte à de telles dimensions, on est conduit à reconnaître que l'art de la charpenterie est à peine remonté, aujourd'hui, à la perfection qu'il avait acquise à cette époque. Nous verrons néanmoins plus

(1) *Voyez* la planche LXXIV de l'ouvrage intitulé : « Colonna Traiana eretta dal senato e popolo romano all' imperatore Trajano Augusto, nel suo foro in Roma; scolpita con l'istorie della guerra dacica, la prima e la secunda expeditione e vittoria contro il re Decebal nuovamente disegnata et intagliata da Pietro santi Bartoli con l'exposizione latina d'Alfonso Ciaconne, etc... » Roma, in-fol., sans date sinon une dédicace à S. M. Louis XIV, roi de France et de Navarre.

loin que l'on construit aujourd'hui des ponts en charpente qui ont des portées bien plus considérables.

On voit par le dessin que nous donnons du pont de Trajan, fig. 14, pl. CXXXVII, que chaque travée avait été composée de plusieurs fermes, dans chacune desquelles trois arcs séparés, mais combinés avec des moises pendantes, soutenaient les poutres du pont en travers desquelles d'autres poutres étaient distribuées pour porter le plancher. Les garde-corps sont indépendants des cintres. Dans les espaces qui séparaient les travées, et qui correspondaient aux piles, il y avait des chevalets qui concouraient au soutien des poutres du pont.

§ 2. *Pont de Chazey.*

On ne peut douter que le système de construction du pont de Trajan n'ait suggéré l'idée d'employer des cintres en charpente dans les ponts modernes, pour soutenir leurs planchers. Le pont de Chazey, sur l'Ain, paraît être le premier qui ait été construit en France suivant ce système. Nous n'en donnons point de dessin, et nous n'en parlons ici que parce qu'il a servi de modèle à beaucoup d'autres ponts de cette sorte. Nous donnons plus loin la description du pont d'Ivry, qui a reçu, dans son exécution, un grand nombre de perfectionnements. Nous nous bornerons donc à dire que le pont de Chazey était composé de quatre arches de 19^m,50 d'ouverture; il était porté sur des piles et culées en maçonnerie; les arcs de chaque ferme, tous en dessous du plancher du pont, étaient composés de deux cours de pièces superposées jointes à crans ou endents, taillées en arcs de cercle et serrées par des boulons, distribuées entre des moises pendantes; des contre-fiches se trouvaient placées entre les arcs et les longerons horizontaux pour soutenir ces longerons entre les points d'appui des sommets des arcs et les parements des piles et des culées.

§ 3. *Projet de M. Migneron.*

Vers 1784, le sieur Migneron avait annoncé, comme nous l'avons déjà dit page 210, tome I^r, qu'il était inventeur d'un procédé pour courber les bois sans altérer la liaison de leurs fibres, et pour les rendre en même temps plus durables. En outre des expériences qui furent faites à Paris, on fit, près de Bordeaux, l'essai de son procédé par la construction d'un pont de 19 mètres et demi d'ouverture. Les cintres étaient formés de six pièces, réunies deux à deux dans le sens horizontal, et trois à trois dans le sens vertical; ces pièces n'avaient que 14 à 16 centimètres d'équar-

rissage, il ne paraît pas que cette tentative ait eu le succès qu'on en attendait.

Quelques années plus tard, au sujet d'un concours ouvert à Paris pour un pont qu'on avait intention de construire pour remplacer le pont Rouge, M. Migneron présenta le projet d'un pont de 200 pieds d'ouverture (64^m,95) d'une seule travée.

Nous donnons, fig. 5, pl. CXXXIV, un dessin de ce pont d'après une gravure que M. Migneron publia à l'époque du concours. La partie à droite montre l'élévation du pont, la partie à gauche est une coupe longitudinale prise entre deux fermes suivant la ligne xy de la figure 6, qui est une coupe suivant la ligne rz de la figure 5.

Ce pont devait être composé de onze fermes; il aurait eu 12 mètres et demi de largeur entre les garde-corps, son cintre principal et ses différents autres cintres auraient été serrés dans chaque ferme par 49 moises pendantes. Le peu de succès qu'avait eu l'essai fait près de Bordeaux a empêché l'exécution de ce pont, qui avait au moins le mérite d'une grande hardiesse, mais dont la faible courbure des arcs était loin d'inspirer de la sécurité par rapport à sa solidité; d'un autre côté la prodigieuse quantité de bois qui devait être employée dans cette construction n'avait aucune compensation; car rien n'obligeait, comme la suite l'a prouvé, à ne point établir des piles dans la largeur de la Seine.

§ 4. Pont d'Ivry.

Le pont de Chazey et les différentes tentatives qui furent faites en l'imitant sur plusieurs points, ont enfin montré que le système d'arc formé de plusieurs cours de pièces courbes réunies, est le meilleur qu'on puisse suivre pour la construction des ponts en charpente. Dans l'impossibilité où nous sommes à cause de leur grand nombre, de représenter tous les ponts construits suivant ce mode, avec les perfectionnements successifs qui ont été apportés dans la composition de leurs fermes, nous choisissons le pont d'Ivry construit sur la Seine, en 1828, au confluent de la Marne, par M. Emmery, comme le plus remarquable et qui résume tous les perfectionnements qui ont été faits, par le soin particulier que cet habile et savant ingénieur des ponts et chaussées a apporté dans sa composition et par la perfection des détails les plus minutieux de son exécution. Nous signalons ce pont comme un excellent modèle de construction en ce genre.

M. Emmery a publié en 1832, une description du pont d'Ivry et des

moindres détails qui se rapportent à l'exécution des travaux de toute espèce auxquels il a donné lieu (1). Cette description est elle-même un modèle de ce genre de travail et un recueil d'instructions utiles; c'est d'elle que nous avons emprunté les figures que nous donnons de ce pont, planche CXXXIII.

La fig. 8 est une élévation de la première arche.

La figure 11 est un développement du dessous du pont. Dans cette figure, la ligne $m n$ répond à l'axe du pont, et la ligne $a' b'$ répond à la ligne $a b$ de la figure 8.

La figure 10 est une coupe par un plan vertical, suivant les lignes $a b$ et $a' b'$ de l'élévation et du plan.

Ce pont est composé de cinq arches, celle du milieu a $23^m,75$ d'ouverture, les deux qui lui sont contiguës ont chacune $22^m,50$; et les deux arches extrêmes n'ont que $21^m,25$; celles-ci donnent passage aux chemins de halage des deux rives. Les piles ont $2^m,75$ d'épaisseur, ce qui porte la longueur totale du pont à $122^m,25$. Le dessus du pont a deux pentes, afin que sans trop exhausser les abords l'arche du milieu laisse un libre passage aux bateaux. Les naissances de toutes les arches sont dans le même plan horizontal, à 6 mètres au-dessus de l'étiage, pour que tous les bois soient à l'abri des atteintes de l'eau, dans les crues, et du choc des glaces, lors des débâcles auxquelles la Seine est fréquemment sujette; c'est ce qui a déterminé à donner des portées différentes aux arches en traçant néanmoins leurs intrados avec des rayons presque égaux.

On avait fixé comme limite des flèches des arcs le septième de la corde, elles se sont trouvées de $3^m,62$ pour l'arche du milieu, de $2^m,34$ pour les deux contiguës, et de 3 mètres pour celles joignant les culées. L'épaisseur de la charpente répondant aux sommets de toutes les arches, est la même et les deux pentes de la chaussée du pont sont symétriques; elles sont de $0^m,014$ par mètre entre chaque culée et l'arche du milieu, au-dessus de laquelle ces deux pentes sont raccordées par le sommet d'une parabole. La même forme parabolique est imposée aux longerons répondant à l'arche du milieu. Les arcs sont composés de trois cours de courbes que M. Emmerly appelle arbalétriers-courbes, et qu'il considère comme des voussoirs. Les cintres ont été tracés par leurs intrados au moyen d'un grand compas à verge avec des rayons

de $20^m,315$ pour la première et la cinquième arche;
 de $20^m,601$ pour la deuxième et la quatrième arche,
 et de $21^m,302$ pour la troisième arche, qui est celle du milieu.

(1) 1 vol. in 4° de 304 pages, atlas de 18 pl.; Paris, 1832, Dunod, éditeur.

Les points de ces mêmes arcs d'intrados ont été déterminés aussi par le calcul comme moyen de vérification. Les points de la parabole du sommet du pont et des longerons de l'arche du milieu ont aussi été calculés, vu que son peu de courbure ne permettait pas de la déterminer graphiquement.

Parmi les causes de destruction des ponts en bois, les vibrations et mouvements de torsion occasionnés par le passage de pesantes voitures sont les plus puissantes, et leur effet s'accroît par le retrait que les bois éprouvent par vétusté et dessiccation, et par le jeu que prennent les joints. On a observé dans la construction du pont d'Ivry une précaution que les charpentiers ne négligent jamais dans aucune espèce de charpente; on a ménagé dans les entailles du moisage et dans la longueur du taraudage des boulons, le moyen de resserrer les assemblages à des intervalles de temps rapprochés, pour rendre à la charpente la même fermeté qu'au moment où sa construction a été terminée.

Pour éviter les inconvénients de la pénétration mutuelle des fibres du bois à leur rencontre, bout à bout, dans la composition des arcs, M. Emmerly a interposé des plaques de cuivre à tous les contacts entre les abouts des pièces qui composent ces arcs. M. Emmerly a adopté pour tous les bois se rencontrant l'assemblage anglais que nous avons décrit fig. 6, pl. XV, page 267, 1^o, tome I^{er}.

Pour aérer les bois dans les parties où ils prennent leurs appuis dans la maçonnerie, M. Emmerly a laissé, entre la pierre et les faces latérales des pièces, un espace de 0^m,01, et qu'il serait bon de porter jusqu'à 0^m,03. Les abouts ont été coupés perpendiculairement aux tangentes de chaque pièce courbe entrant dans la composition de chaque arc, de façon que leurs abouts dans la pierre sont distincts et ne sont pas un seul plan comme cela s'était pratiqué quelquefois; enfin, pour donner égard à l'eau qui pourrait s'introduire dans les abouts des arcs, le premier cours de courbes est posé, à chaque naissance, sur un coussinet en fonte de fer qui laisse au-dessous de lui deux conduits pour que l'eau puisse venir se dégorger au parement extérieur de la pierre.

Tous les bois employés dans la construction de ce pont étaient de la meilleure qualité et du meilleur choix, tous équarris, sinon rigoureusement à vives arêtes, au moins avec un petit pan régulier formé à la varlope de 0^m,0025, sans la moindre flache, précautions à observer pour la belle apparence des cintres et pour empêcher les arêtes de se dégrader dans le maniement des bois et le levage.

Toutes les pièces cintrées ont été, autant que possible, choisies dans des bois d'une courbure naturelle analogue; mais à leur défaut, on a gabarié à la hache des pièces droites ou de courbure incomplète, malgré

l'inconvénient de couper les fibres du bois. M. Emmery avait espéré pouvoir composer les cintres de cinq rangs de madriers de 15 centimètres d'épaisseur, pris en bois droits et courbés ensuite à la vapeur, à l'imitation des procédés de M. Eustache pour le pont de Melun, dont nous avons déjà parlé page 196, et que nous décrivons plus loin, article 6, paragraphe 6 du chapitre XLI; mais ce projet fut malheureusement abandonné, parce que l'idée d'un premier essai et la crainte d'être entraînés dans de grandes dépenses effrayèrent les entrepreneurs.

Il est à regretter que l'on ait été arrêté par cette considération et que l'on n'ait pas cherché la limite de la diminution de l'épaisseur des madriers pour qu'on pût les courber sans le secours de la vapeur, eût-on dû en augmenter le nombre. Il y a lieu de penser que pour un rayon de 20 mètres, qui est à peu près celui de tous les intrados des cintres, on aurait pu les courber sous une épaisseur de 10 à 12 centimètres, puisque j'ai courbé, sans le secours de la vapeur, sous une courbure double, des madriers de beau sapin très-rigide, de l'épaisseur de 55 millimètres, qui aurait pu être portée à 70 ou 80 millimètres; dans ce cas, les cintres du pont d'Ivry n'auraient exigé que l'épaisseur de sept à huit madriers, et la largeur qu'on aurait pu donner aux madriers, beaucoup plus grande que celle des gros bois, aurait été d'un grand avantage pour la solidité de la charpente.

La précaution a été poussée pour la construction à l'égard des pièces de bois employées dans les arcs, jusqu'à ne leur faire aucune espèce d'entaille pour recevoir les moises et les liens de fer. Il convient assurément de ne point altérer la force des pièces par des entailles trop profondes; mais par cette précaution ne s'est-on pas privé d'un grand moyen de fixité dans la position des moises? On a été obligé de recourir à l'action des contrevents en étrésillons pour s'opposer au glissement de ces moises, qui ne se trouvent ainsi assurées que d'un côté, et sur un point de leur longueur: n'aurait-il pas été préférable d'augmenter un peu l'épaisseur des arcs, afin de faire la part des entailles que d'ailleurs on pourrait faire à recouvrements, comme je l'ai pratiqué à la charpente de Marac? Ces entailles ont l'immense avantage d'empêcher le glissement des courbes les unes sur les autres; elles tiennent, pour ainsi dire, lieu des assemblages à endents dont nous avons parlé, et qui sont avec raison adoptés dans la construction des arcs en gros bois. Je n'ai point employé les endents pour la charpente de Marac, à cause du peu d'épaisseur des madriers, et je les ai remplacés par les entailles dont il s'agit.

Un excellent moyen employé au pont d'Ivry pour concourir avec les brides à serrer les courbes, c'est l'inclinaison donnée aux entailles entre les moises pendantes et les moises horizontales. Cette inclinaison fait que

les fonds des entailles agissent comme des coins : on la voit projetée dans les entailles de la moise fig. 9.

Les détails de cet assemblage sont répétés, sur une échelle quadruple, dans la fig. 2, qui est une coupe de l'arc d'une ferme parallèlement à une moise pendante, et dans la figure 3 qui est en même temps, dans sa partie supérieure, une élévation et, dans sa partie inférieure, une coupe par un plan parallèle au parement de l'arc.

Les mêmes lettres dans ces deux figures désignent les mêmes pièces : *a, a, a* sont les trois cours des pièces de l'arc; *b, b*, les moises pendantes; *c, c*, les moises horizontales.

La figure 4 est, sur une échelle double, une projection de la deuxième moise pendante de droite de la figure 8. On a ponctué sur cette figure les longerons et sous-longerons pour que la moise pendante fût figurée seule, dépouillée des moises transversales et pour montrer ses entailles.

La figure 5 est la demi-moise, vue sur l'une de ses faces d'assemblage où se trouvent tracées les entailles *m* et *n* pour les moises transversales, et celle *p* pour le cintre. L'entaille *q* répond aux longerons.

L'inclinaison des fonds des entailles qui sont en sens contraire sur les moises horizontales de l'intrados, par rapport à celles de l'extrados, fait que ces moises, en glissant sur les fonds des entailles également inclinées, des moises pendantes, qui d'ailleurs laissent le jeu nécessaire, serrent entre elles les arbalétriers courbes des arcs. Ce moyen est fort ingénieux; néanmoins le même effet serait produit, et peut-être avec plus de vigueur, par des boulons qui traverseraient en même temps les moises horizontales et les arcs. Mais on a craint d'affaiblir les pièces des arcs en les perçant pour les passages des boulons qui auraient cependant encore empêché le glissement des courbes, sauf à donner à ces pièces une très-petite augmentation d'épaisseur; car les trous de boulons bien remplis n'affaiblissent pas autant qu'on le pense la force des pièces de bois qu'ils traversent, lorsque ces pièces n'ont point à résister à un effort de traction.

Dans la partie du développement de l'intrados d'une arche représentée fig. 11, les étrépillons dont nous avons parlé sont en diagonales des compartiments formés par les arcs et les moises horizontales; bien qu'ils forment des contrevents indispensables contre les vibrations horizontales du pont, on voit qu'ils tendent à faire tordre sur elles-mêmes les moises pendantes : il nous aurait paru préférable de les établir entre les moises horizontales.

Des solives ou pièces de pont sont posées transversalement sur les longerons des fermes; elles sont en nombre égal sur chaque travée et distribuées presque également; leurs bouts forment des modillons, et

couvrent les deux têtes du pont par une sorte de corniche sur les solives qui sont étendues selon le sens de la longueur du pont; des madriers de 0^m,10 d'épaisseur sur 20 à 30 de largeur, laissant entre eux un espace de 0^m,03 pour la circulation de l'air, tiennent lieu de longerons et reçoivent d'autres madriers de 0^m,05 jointifs qui les croisent à angle droit et forment le plancher. On a garni de bandes de fer et d'un doublage en bois, la voie des roues et des chevaux. Des trottoirs sont réservés pour les piétons; leurs planchers sont établis de chaque côté sur un grillage formé de solives longitudinales élevées au-dessus du plancher du pont par des bouts de solives ou fausses pièces de pont qui les croisent et leur sont assemblées par entailles : un garde-corps qui est en fer s'étend sur chaque tête.

En outre des étrépillons formant contrevent dont nous avons parlé plus haut, des contrevents en fer s'étendent immédiatement sur le solivage du plancher; nous les décrirons dans le paragraphe 12 ci-après, relatif à l'emploi du fer dans les ponts en charpente.

Nous ne parlons point d'une foule de précautions prises dans la construction de cette charpente, qui sont décrites avec beaucoup de soin dans l'ouvrage de M. Emmery et qui se trouvent indiquées dans le nôtre, dans les différents articles auxquels elles se rapportent.

§ 5. *Pont russe.*

La figure 7 de la planche CXXXVI est l'élévation d'un pont d'une seule arche de 45 mètres d'ouverture, construit par le général Fabre, il y a une trentaine d'années, sur la Méhaga, dans la colonie du 1^{er} régiment des carabiniers russes.

La figure 14 est la projection horizontale d'un des cintres.

La figure 3 est une coupe suivant la ligne *m n*.

Ce que ce pont présente surtout de remarquable, c'est que ces cintres sont formés de trois épaisseurs de forts madriers boulonnés les uns sur les autres, qui, au lieu d'être saisis par les moises pendantes, les tiennent, au contraire, intercalées entre eux, de façon que les deux pièces d'une moise saisissent les madriers du milieu, et qu'elles sont elles-mêmes saisies entre les deux madriers latéraux.

Cette disposition, qui peut être admissible sous certains rapports, a cependant l'inconvénient de laisser à découvert les abouts des madriers, qui ne peuvent pas être d'une seule pièce. De deux en deux les moises pendantes sont prolongées jusqu'aux longerons; cette combinaison ne leur assure pas une stabilité complète, on affirme néanmoins que ce

pont, construit en bois de sapin, est très-solide, et qu'il doit à sa légèreté un aspect fort agréable.

Nous prenons occasion de la description de ce pont pour faire remarquer que la force qu'on obtient des arcs séparés, comme dans ce pont, n'est pas aussi grande que celle qui résulterait du même nombre d'arcs en un seul; je n'entends parler ici que de la résistance aux vibrations qui résultent de la flexibilité des arcs, et l'on doit remarquer encore que pour que la stabilité, dans une charpente, soit aussi complète que possible, il faut que les portions d'arc comprises entre les moises soient assez épaisses ou assez courtes pour qu'elles n'aient point de flexibilité sensible. Dans les constructions où un poids peut se mouvoir dans le sens de la longueur d'une ferme, un arc mince, qui, par conséquent, doit plier entre les points où il est saisi par des moises, est nuisible à la solidité de la charpente, parce que le fardeau, en le forçant de diminuer de courbure dans le point sur lequel son effort est reporté, le force en même temps de prendre une courbure plus grande dans le point symétrique de l'autre côté de l'axe vertical de l'arc. Les variations de courbures changent continuellement les formes de la charpente; elles détériorent les assemblages et ruinent promptement l'édifice.

On conçoit qu'en pareil cas des pièces droites bien combinées, même suivant les cordes d'un cintre, peuvent être préférables en ce qu'elles ne sont point sujettes à changer de forme sous le moindre effort, comme il arrive aux pièces courbes trop minces, déjà disposées à ces sortes de changements par leurs propres courbures.

VIII.

SYSTÈME DE M. WIEBEKIN.

M. Wiebekin, directeur général des ponts et chaussées du royaume de Bavière, est sans contredit celui qui a fait faire les plus grands pas à l'art de construire des ponts au moyen de bois courbés pour en former des cintres. Dans un ouvrage publié à Munich en 1810 (1), il donne la description de la méthode dont il est inventeur, appliquée à douze grands ponts construits en Bavière sous sa direction. Nous renvoyons à cet ouvrage ceux de nos lecteurs qui désireraient des détails plus minutieux que ceux que nous avons

(1) Traité contenant une partie essentielle dans la science de construire les ponts.

jugés indispensables et qui sont l'objet des articles de ce paragraphe. Nous avons pensé que les détails que nous donnons suffisent, après les descriptions que nous avons faites dans le cours de notre ouvrage de divers procédés de l'art qui trouvent des applications dans l'exécution des travaux de M. Wiebeking.

Le système de M. Wiebeking diffère de ceux que nous avons précédemment décrits, et qui étaient en usage avant lui, en ce qu'il supprime les moises pendantes, qu'il forme de très-grandes arches en courbant les bois sans le secours de la vapeur ou de la hache.

Il compose la charpente de chaque arche de trois fermes, dont il encastre les naissances en les prolongeant dans les culées.

Les moises pendantes ont effectivement le grave inconvénient de charger considérablement les fermes des ponts, de ne point les lier entre elles, de ne point serrer les unes contre les autres les pièces courbes qui composent un arc, et de ne point s'opposer à leur déversement; on est, en effet, obligé, pour remédier à ces deux inconvénients, dans la construction ordinaire, de lier les fermes les unes aux autres par des moises horizontales, et d'interposer entre les fermes des croix de Saint-André qui accroissent encore le poids des charpentes.

A l'égard de l'étendue des arches, les grandes travées procurent l'avantage de diminuer le nombre des palées, ainsi que nous l'avons déjà dit en faisant remarquer les inconvénients de ces palées qui obstruent le lit des rivières, et donne prise à la violence des eaux, aux chocs des glaçons dans les débâcles, et qui sont sujettes à des avaries résultant d'affouillements.

Les grandes portées des arches ont encore procuré à M. Wiebeking l'immense avantage de pouvoir former les cintres en courbant les bois, même ceux d'un fort équarrissage, sans le secours de la vapeur, et rien que par l'effet de leur flexibilité. M. Wiebeking a fait des expériences qui prouvent :

1° Que les bois en grume ont un plus grand degré de flexibilité que des bois équarris. Une poutre de sapin équarrie, de 57 pieds 6 pouces (1) (16^m,73) de longueur sur 16 pouces (0^m,39) d'épaisseur, peut être courbée jusqu'à ce que la flèche de sa courbure soit la trente-sixième partie de sa longueur, tandis que la flèche de la courbure de la même pièce en grume peut être la treizième partie de sa longueur;

2° Que les pièces équarrées posées l'une sur l'autre sont susceptibles d'une plus grande courbure qu'une pièce isolée;

(1) Toutes les dimensions indiquées d'après M. Wiebeking sont en mesure de Bavière; le pied de Bavière est égal à 0^m,29156.

3° Que les bois résineux, flottés plus de dix jours, ne sont plus propres à être courbés;

4° Que le bois de pin a plus d'élasticité que le sapin, et le mélèze plus que le pin, et que les bois résineux ont plus d'élasticité que le bois de chêne;

5° Que des pièces de bois résineux, tels que le pin et le sapin, qui ne sont pas complètement sèches, reçoivent une courbure dont la flèche peut être le vingtième de leur longueur pour les pièces de 1 pied de Bavière (0^m,292) d'équarrissage, et d'un trentième pour celles de 16 pouces (0^m,39) d'équarrissage;

6° Que la courbure des pièces de bois de chêne non sec ne permet qu'une flèche d'un vingt-sixième de leur longueur.

Ces courbures ont été suffisantes pour former les cintres des ponts que M. Wiebeking a construits. Le moindre de ces ponts, celui d'Ættingen, ayant 107 pieds (31^m,197) d'ouverture sur un rayon de 207 pieds de Bavière (60^m,35), et le plus grand, celui de Scharding, 200 pieds (58^m,312) d'ouverture des arches sur un rayon de 266 pieds (77^m,555).

Les expériences que M. Wiebeking a faites lui ont prouvé qu'on pourrait charger le milieu de ses arches de 115 milliers de livres (67,555 kilogrammes), avant qu'ils fléchissent de la neuvième partie de leurs flèches.

Il a fait un projet d'un pont pour Munich de 286 pieds (83^m,386) de portée, et pour montrer la puissance de son invention, il a fait le projet d'un pont d'une seule arche de 600 pieds (175^m,00) de portée.

En engageant profondément les cintres dans les culées, M. Wiebeking a eu pour but d'empêcher la vibration du pont, peut-être plus efficacement que par le moyen des contrevents, vu l'accroissement de force qu'une poutre acquiert lorsque ses extrémités sont scellées dans les murs qui la supportent; mais il est à craindre que les extrémités des cintres ainsi privés d'air pourrissent promptement. Cependant les massifs des culées dont il s'agit, qui sont formés de maçonnerie, peuvent être disposés de façon que ces cintres sont suffisamment environnés d'air et maintenus solidement, et, d'ailleurs, avec les préservatifs de la pourriture que l'on connaît aujourd'hui, l'inconvénient disparaît entièrement.

§ 1. Pont de Bamberg.

Nous donnons, fig. 36 de la pl. CXXXVII, une élévation d'une des arches du pont, construit par M. Wiebeking, près de Bamberg, sur la Régnitz, en 1809. Ce pont a remplacé celui en maçonnerie qui avait été construit de 1752 à 1756, et qui fut emporté par les hautes eaux de 1784, parce

que les pieux des fondations des piles et culées n'avaient point assez de fiches dans un fond sablonneux, et qu'ils ont été complètement déracinés par les affouillements; 34 maisons qui environnaient le pont furent entraînées dans sa ruine. En amont du pont ruiné, on en avait établi un porté sur des palées en pieux, qui a coûté considérablement d'entretien et dont le délabrement a forcé d'en construire bientôt un autre pour le remplacer. Les encombrements du lit de la Régnitz par les ruines de l'ancien pont, et les difficultés que la nature du sol présentait, ont déterminé M. Wiebeking à construire le nouveau pont d'une seule travée ou arche de 62^m,69 d'ouverture, à la place qu'occupait l'ancien pont en maçonnerie.

Les naissances de l'arche en charpente sont à 2^m,138 au-dessus de l'étiage et les grillages des culées sont à 0^m,292 au-dessous; on a donné à ces culées une fondation solide, en battant des pieux partout où les ruines du pont de pierre l'ont permis, les cases des grillages ont été maçonnées en briques et ciment. Les pierres arrachées aux ruines de l'ancien pont ont servi à la construction des nouvelles culées.

Toutes les pièces encastrées dans les culées ont été goudronnées et les joints ont été enduits d'huile bouillante et revêtus de lames de plomb. Malgré le poids de l'opinion de M. Wiebeking, nous ne regardons point ces précautions comme suffisantes pour garantir complètement de la pourriture les bois privés d'air. Nous reconnaissons comme lui l'utilité de faire pénétrer les cintres dans les massifs des culées; mais nous pensons que, tout en conservant ce mode de consolidation du pont, il faut recourir à d'autres moyens pour la conservation des bois, et nous rappellerons à ce sujet le procédé de M. Kyan dont nous avons parlé tome I^{er}, chap. VI, 3^o, et ceux de M. Bréant et de M. le docteur Boucherie, que nous avons cités dans la préface de ce second volume.

Le pont est soutenu par trois cintres; deux latéraux formant les têtes de l'arche, le troisième au milieu de la largeur du pont. Les fermes des têtes sont doubles, c'est-à-dire qu'elles sont composées chacune de deux arcs posés l'un près de l'autre; la ferme du milieu est égale à une des fermes des têtes. M. Wiebeking leur a ajouté de chaque côté trois cours de courbes, de façon qu'en résultat le cintre du milieu se trouve double de chacun des autres, mais de telle sorte cependant que les cours de courbes ajoutées n'ont pas la même courbure, et qu'ils surmontent les cintres auxquels ils sont accolés de toute l'épaisseur de l'arc principal. Toutes les courbes de ce pont sont en pin et en sapin; elles ont depuis 15 jusqu'à 16 pouces (0^m,36 à 0^m,39) de hauteur, elles sont boulonnées les unes aux autres perpendiculairement à leurs courbures et d'un cintre à l'autre.

Les cintres sont entretenus à leurs distances respectives par des entre-toises qui les traversent entre les courbes. Des moises pendantes, qui saisissent les entretoises, et sont indépendantes des arcs, soutiennent les longerons sur lesquels repose le solivage qui porte le plancher; la largeur de ce point est de 32 pieds (9^m,33), il est pavé et il porte des trottoirs pavés en dalles de pierres; il a été exécuté sous la direction de M. Wiebeking, par le charpentier Rief. Ce pont est revêtu sur ses côtés de planches dirigées suivant les coupes qu'auraient eues les voussoirs d'une voûte, et en dessus des reins suivant des horizontales comme seraient des assises, ce qui lui donne l'aspect d'un pont en pierre de taille. En 1809, ce pont était le plus grand que M. Wiebeking eût construit; depuis, il en a exécuté qui ont une plus grande portée.

§ 3. Pont de Scharding.

Nous choisissons parmi les ponts construits par M. Wiebeking le pont jeté sur la Rott, près Scharding, pour le figurer sur une plus grande échelle, non-seulement parce qu'il est le plus grand qui ait été construit suivant son système, mais à cause de ses détails de construction.

La figure 1 de la planche CXXXVI est l'élevation de ce pont, d'une seule arche de 58^m,312 de portée; sa flèche est de 5^m,44, le rayon est de 77^m,556. Chacune de ses culées est composée de deux parties, la première supporte le pont sur ses deux semelles d'appui. La fondation est composée de 55 pilots qui ont 4^m,082 de fiche, enfoncés au refus du mouton; les têtes de ces pieux sont engagées dans une épaisse et solide maçonnerie.

L'arche est composée de trois cintres; les deux cintres latéraux sont formés chacun de deux cours entiers de courbes *a, b*, qui embrassent tout le développement de l'arche; et de chaque côté de parties d'arcs composées chacune aussi de deux courbes *c, d, g, f*, qui sont appelées jambettes dans la description donnée par M. Wiebeking. Ces six cours de courbes portent sur la partie de la semelle *m n* répondant à la première partie de la culée.

Les autres cours de courbes *i k* forment un autre arc qui s'élève à la même hauteur que le premier, et qui porte sur les prolongements des semelles *m n*. Sa corde est de 70^m,849, sa flèche de 4^m,665, et son rayon est de 135^m,867. La ferme du milieu du pont est semblable aux fermes latérales, elle est formée des courbes *a, b, c, d, f, g*; chaque cintre est embrassé vers ses naissances par les colonnes d'appui *n o* qui sont des moises verticales.

Le cintre du milieu et les cintres latéraux intérieurs pénètrent de 4^m,373 dans les culées au-delà des colonnes d'appui; les cintres extérieurs y pénètrent de 8^m,164. Les cintres extérieurs sont attachés aux cintres intérieurs qui leur correspondent par des boulons 1, 2, 3; ils ont pour objet d'empêcher le déversement du pont. Des boulons perpendiculaires aux courbes unissent leurs différentes parties. Les joints d'un cours de courbes ne correspondent point à ceux d'un autre cours; les joints sont boulonnés très-près de leurs entailles; ils sont de plus consolidés par des liernes qui traversent horizontalement les cintres. Des clefs *u* sont chassées entre les courbes pour s'opposer à ce qu'elles glissent les unes sur les autres.

Des cloisons verticales *p q* composées de pièces horizontales, superposées jointes à longs endents et boulonnées, remplacent les croix de Saint-André pour empêcher encore le déversement du pont.

La fig. 5 est une coupe par un plan vertical, suivant la ligne *x y*, fig. 1. Vu la petitesse de l'échelle, on n'a point marqué les longs endents ni les boulons qui unissent les pièces horizontales.

La figure 4 est le plan ou projection horizontale du pont, sur lequel les positions des cintres sont marquées, ainsi que le solivage du plancher et les croix de Saint-André horizontales servant de contrevents.

Ces croix de Saint-André ne sont point assemblées à tenons et mortaises; elles portent dans des embrèvements où leurs abouts sont serrés par des coins *r* chassés avec force. Ces coins sont en bois de chêne enduit d'huile bouillante et ensuite de savon, pour qu'ils puissent être chassés plus aisément et qu'ils serrent mieux.

M. Wiebeking n'a point observé dans la construction de ce point, comme dans celle du précédent, la précaution utile de donner plus de force au cintre du milieu du pont qu'aux cintres latéraux.

Les grands boulons employés dans ce point ont 36 millimètres et demi de diamètre; les moyens ont 30 millimètres un tiers.

§ 3. Pont d'Ettringen.

M. Wiebeking avait imaginé, en 1807, de construire des cintres diagonaux dans les arches, il en a fait l'application au pont d'Ettringen, sur la Varta en 1809. Ce point n'a qu'une seule arche de 42^m,985 d'ouverture et de 2^m,405 de flèche. Il est composé de trois cintres à peu près comme les précédents; mais M. Wiebeking a substitué aux contrevents ordinaires deux cintres diagonaux qui se croisent au-sommet du cintre du

milieu, et qui ont leurs naissances près de celles des cintres latéraux dans des points diagonalement opposés.

D'après les limites de flexibilité dont nous avons parlé plus haut M. Wiebeking a fixé comme il suit les flèches qu'il convient de donner aux cintres des arches, d'après l'étendue de leurs cordes.

La flèche est du $\frac{1}{24}$ 5 à 7 pieds $\frac{1}{2}$ pour une corde de 100 à 150 pieds,
(1^m,25 à 1^m,50) (1) (30 à 36 mètres.)

du $\frac{1}{30}$ au $\frac{1}{18}$ 11 pieds pour une corde de 200 pieds;
(3^m, à 3^m,33) (60 mètres.)

du $\frac{1}{15}$ 20 pieds pour une corde de 300 pieds;
(6 mètres) (90 mètres.)

du $\frac{1}{11}$ 29 pieds pour une corde de 400 pieds;
(8^m,30) (116 mètres.)

du $\frac{1}{13}$ 38 pieds pour une corde de 500 pieds;
(11^m,15) (145 mètres.)

du $\frac{1}{12}$ 50 pieds pour une corde de 600 pieds;
(14^m,60) (175 mètres.)

On conçoit qu'entre ces limites, on peut faire varier la courbure d'une faible quantité suivant que le commandant la hauteur des eaux et les abords des ponts.

Les écartements des liernes horizontales et des boulons qui serrent les courbes sont aussi déterminés par M. Wiebeking; il les fixe pour les liernes à 14 à 18 et 20 pieds (5^m,00 à 5^m,50 et 6^m,00), et l'écartement des boulons ne doit pas excéder 12 pieds (3^m,50).

M. Wiebeking donne aux bois employés dans ses cintres, les courbures qui sont nécessaires, et qui doivent s'accorder avec celles des arches, sur un chantier de levage où il construit le pont presque en entier, du moins pour ce qui regarde les cintres. Les pièces de bois sont pliées comme nous l'avons déjà dit, sans l'emploi du feu ni de la vapeur, seulement par l'effet de la force des leviers, crics, palans et cabestans, et les pièces ainsi pliées sont maintenues sur les gabarits formés de pieux, au

(1) Les nombres indiqués ci-dessus d'après M. Wiebeking sont en mesures de Bavière; ceux que nous avons écrits entre parenthèses, et qui leur correspondent, ne sont point des conversions exactes de ces mesures, ils expriment seulement en mesures métriques les longueurs des pièces et de leurs flèches, dans les rapports fixés par M. Wiebeking.

moyen d'autres pieux auxquels elles sont tenues par des traverses. Elles sont laissées dans cette situation deux et trois mois, c'est au bout de ce temps qu'elles ont pris une courbure qu'elles conservent, et qu'elles sont propres à être mises en place dans la construction définitive du pont.

Le levage des arches a lieu au moyen d'un échafaudage établi dans la rivière sur des pieux, et que l'on élève par des chaises formées de corps d'arbres aux points qui conviennent pour soutenir les cintres.

§ 4. *Pont d'Altenmarkt.*

On avait opposé au système des arbres une objection qui paraissait fondée au premier abord; on prétendait qu'il n'était exécutable qu'avec de grands bois de fort équarrissage : M. Wiebeking a saisi l'occasion que présentait la construction du pont d'Altenmarkt, sur la rivière d'Alz, pour prouver que ses grandes arches pouvaient être exécutées avec toutes sortes de bois, les grands bois manquant dans cette contrée : cependant le pont d'une seule arche, composée de quatre cintres, qu'il avait projeté, devait avoir 43^m,151 de portée, une flèche de 4^m,082, et une largeur de 5^m,830. Il construisit en conséquence les quatre cintres de ses arches avec des planches. Les cintres latéraux sont composés de deux courbes qui ont 0^m,267 d'épaisseur sur 0^m,243 de largeur. Les cintres intermédiaires ont été composés de planches de 0^m,194 de largeur et de 0^m,049 à 0^m,073 d'épaisseur. Les couches supérieures et inférieures de ces cintres sont de trois planches qui s'étendent dans tout leur développement; entre ces deux couches on a intercalé douze couches chacune de 0^m,049 d'épaisseur et de 5^m,54 à 6^m,12 de longueur. Le succès de cette construction prouve que la méthode de M. Wiebeking n'exige pas absolument des bois d'un fort équarrissage.

Voici comment M. Wiebeking dit qu'il a fait opérer pour composer les cintres en planches.

Après avoir chauffé les planches avec un réchaud mobile, on a enduit leurs surfaces de colle forte, et après qu'on eut appliqué l'une sur l'autre, les planches dont un cintre devait être composé, on les a fortement serrées suivant la courbure que le cintre devait avoir en les assujettissant au moyen de presses formées en châssis, et de coins chassés entre les planches et les traverses de ces châssis (1).

(1) M. Wiebeking rapporte que, dans les expériences qu'il a faites, il est parvenu à assembler de cette manière 21 planches de 3 lignes d'épaisseur (7 millimètres), et

Pour préserver les joints de l'influence atmosphérique, on a collé de chaque côté des planches de 0^m,049 serrées par des vis (2).

Dans le reste de sa composition, ce pont est à peu près semblable à ceux que nous avons précédemment décrits.

M. Wiebeking ajoute à la description qu'il donne du pont d'Altenmarkt, que le moyen de construction qu'il y a employé est applicable non-seulement aux ponts à arches, mais aux limons des escaliers, aux échafaudages, aux cintres pour les voûtes, et généralement à tous les ouvrages de charpente qui exigent des courbes. L'idée de M. Wiebeking s'est trouvée réalisée par mon invention des arcs en madriers, courbés sur leur plat, pour la construction des grands combles. (Chapitre XXX.)

On a construit dans le comté de Durham, en Angleterre, un pont en charpente, d'une ouverture d'à peu près 100 mètres, entièrement formé de plusieurs épaisseurs de madriers courbés sur leur plat et jointifs, de manière à former une arche pleine : les madriers n'ayant pas une longueur suffisante, sont entés bout à bout, et les joints sont couverts par des moises horizontales.

IX.

SYSTÈME DE M. L. LAVES.

M. Laves, que nous avons déjà cité page 222, a appliqué son système à quelques ponts. Le plus remarquable, par son étendue, est celui, pour piétons, qu'il a exécuté à Hanovre, sur une portée de 29^m,20 (100 pieds de Hanovre), et une largeur de 3^m,50; nous en donnons un croquis, fig. 34, pl. CXXXVII. Ce pont est en bois de chêne; il se compose de deux armatures jumelles : dans chacune, le longeron qui porte le plancher est compris entre les travons, et reçoit les assemblages à endents de ces travons qui, vu la grande portée du pont, sont formés chacun de trois

qu'ayant éprouvé la force de cet assemblage, il l'a trouvée plus grande que celle d'une pièce de bois de même dimension.

(2) Nous ne pensons pas que l'emploi de la colle-forte soit aussi efficace que M. Wiebeking paraît le supposer, à cause de l'action de l'humidité de l'atmosphère. Nous croyons qu'on peut se dispenser de coller les planches; si l'on tenait cependant à ce moyen, il serait préférable d'employer, au lieu de colle, un mastic gras, pierreux, hydrofuge, tel que le mastic d'Hill, qui adhère tellement au bois, que des pièces réunies par son moyen ne peuvent être séparées que par éclats.

longueurs de bois, assemblées par simple enture pour les travons supérieurs, et par moises à fil de bois et endentures pour les travons inférieurs. Les moises verticales des fermes des têtes sont reliées d'un côté à l'autre du pont par des croix de Saint-André qui soutiennent, aux points où elles se croisent, de petits poteaux sur lesquels porte un longeron qui s'étend sous le milieu du plancher dans toute la longueur du pont. La figure 27 est une coupe transversale de ce pont.

M. Laves a construit deux autres passerelles, d'une portée de 10^m,50, en bois de pin : l'une à Elnbogen, en Bohême; l'autre à Celle, en Hanovre. Enfin, M. Laves a construit, suivant son système, deux ponts pour le passage des voitures : l'un, en chêne, à Dernebourg, près Hildesheim, sur une portée de 17^m,50, fig. 31, pl. CXXXVII; l'autre, en bois de pin, à Altsatter, en Bohême, en deux portées, ensemble de 36^m,80. Dans ces quatre ponts, les armatures sont espacées également, et les travons supérieurs servent de longerons pour supporter leurs planchers, de sorte que les armatures sont entièrement au-dessous des planchers.

Ces constructions sont légères et par conséquent fort économiques; elles présentent cependant, lorsque les berges des rivières sont peu élevées, l'inconvénient de l'abaissement des travons inférieurs qui peuvent gêner la navigation.

On peut remplacer les travons inférieurs par des tringles de fer.

Nous renvoyons, au surplus, à ce que nous avons dit de ce système au sujet de son application à la construction des combles, pages 222 et suivantes.

X.

PONTS BIAIS.

Lorsqu'une route rencontre, sous un angle autre que celui de 90°, un obstacle qu'elle doit franchir directement sur un pont, ce pont doit être biais, surtout lorsqu'il est établi sur un cours d'eau, pour que les parements de ses culées et de ses piles ou palées n'obstruent que le moins possible le mouvement de l'eau. Il en est de même si le pont doit être établi au-dessus d'une autre route, qui est croisée par celle qui doit passer sur ce pont.

Lorsque l'angle que forment les deux directions auxquelles le pont doit participer est tel qu'il en résulte des inconvénients plus grands que le bénéfice que l'on retire d'une construction biaise, on trace la route sui-

vant quelques contours qui changent sa direction aux abords du pont, et qui permettent d'établir ce pont à angle droit sur l'axe de l'obstacle qu'il doit franchir. Ce parti est indispensable lorsqu'il s'agit d'un pont de bateaux ou de radeaux, comme ceux dont nous parlerons au chapitre XXXIX. Dans toute autre circonstance, lorsque le biais n'est pas trop considérable, c'est-à-dire lorsque l'angle suivant lequel les deux directions se croisent n'est pas trop aigu, on s'astreint aux conséquences des constructions biaises, soit en maçonnerie, soit en charpente. Nous allons nous occuper seulement de ces dernières, dans lesquelles les charpentiers aiment à rencontrer les difficultés pour les vaincre en leur appliquant les règles de leur art.

On peut, dans le cas d'un pont établi de biais, faire participer à ce biais toutes les pièces de la charpente, tant de ses culées, piles et palées, que de ses fermes. C'est un parti conforme aux usages de l'art et à la loi de la continuité des formes, qui produit souvent le plus bel ornement des ouvrages en bois. Si nous avions à entrer ici dans les détails de ces formes auxquelles la condition du biais astreindrait les différentes pièces de bois droites ou courbes, qui devraient entrer dans la construction d'un pont biais, nous n'aurions qu'à reproduire ce que nous avons précédemment développé en parlant, aux chapitres XIV et XVIII, des *croupes*, des *noues biaises* et des *fermes biaises* que l'on rencontre dans les diverses combinaisons des combles; mais ces matières ont été traitées dans ces chapitres avec assez de détails pour qu'il soit inutile d'y revenir, tant l'application à en faire aux ponts biais en bois est facile.

Néanmoins il se présente des cas dans lesquels la rigoureuse observation du biais, dans différents détails de construction, présente des inconvénients et même des difficultés assez graves, ce qui nous impose l'obligation de nous occuper des moyens que l'on a parfois employés pour les vaincre ou plutôt pour les éviter.

Les formes que la loi de continuité imposerait dans certains cas aux différentes pièces droites ou courbes seraient gracieuses sans doute, et l'œil pourrait être satisfait de l'observation rigoureuse de cette loi; cependant, il peut arriver que ces formes s'accordent mal avec les conditions de la résistance des bois, notamment à cause des grandes dimensions qu'il faudrait donner à quelques faces des pièces biaises, pour que ces pièces aient la force qui leur serait nécessaire, ou pour que les assemblages puissent y être faits régulièrement; le biais peut aussi conduire à des formes telles, qu'il faudrait des bois d'un trop fort équarrissage pour les fournir; enfin, les pièces biaises pourraient ne pas se présenter à celles qu'elles doivent recevoir sous des angles propres à assurer la stabilité des assemblages.

Le remède à ces inconvénients, qui peuvent rendre la construction impossible ou au moins d'une exécution trop difficile, et même compromettre la solidité, a été le sujet d'un problème que l'on a résolu en ne satisfaisant point au biais dans les détails de la construction, et en ne s'y assujettissant que dans l'ensemble de l'édifice : ainsi chaque ferme est traitée comme si elle appartenait à un pont droit; mais toutes les fermes sont établies, du reste, comme faisant partie d'un pont biais.

Les fermes droites ainsi disposées doivent cependant être liées entre elles par des moises transversales : l'établissement de ces moises donne lieu à deux systèmes de construction des ponts biais.

§ 1. *Pont biais construit avec des fermes droites et des moises transversales horizontales.*

La figure 1, pl. CXXXII, est une élévation ou projection d'un pont biais sur un plan vertical parallèle aux fermes, et par conséquent parallèle à l'axe qui marque la direction de la route à laquelle le pont donne passage; cet axe est marqué $p q$, fig. 4.

La figure 2 est une coupe par un plan vertical suivant le biais ayant pour trace la ligne $z v$ du plan, fig. 4. Mais la portion du pont qui est à droite étant supposée enlevée, la portion à gauche est projetée, fig. 2, sur un plan vertical perpendiculaire à l'axe, et qui est parallèle à la ligne $z y$ figure 4.

Ce pont, quoique biais, est composé de cinq fermes droites dans lesquelles les sous-longerons et les contre-fiches sont combinés suivant le système de M. Lomet, adjudant général, ancien ingénieur des ponts et chaussées. J'ai compris dans cette combinaison quatre contre-fiches au lieu de trois établies dans le pont droit que M. Lomet avait projeté, en 1782, comme étude; ce pont est figuré pl. XVI du premier recueil de l'*Art de la charpente*, par Krafft, et j'en ai déjà parlé, page 382.

La construction de l'épure d'une ferme est établie comme il suit :

Sur la corde $a b$ décrit un arc de cercle $a d b$ de 65° , et dont le centre est en c . (Ce point, faute d'espace libre, est compris dans l'étendue de la fig. 4.)

L'arc $a d b$ est divisé en huit parties égales.

Après avoir établi les moises verticales m formant les poteaux extrêmes de la ferme, le longeron principal $p p$ et le sous-longeron $r r$, on établit de chaque côté la première moise $p q$, de façon que sa ligne de milieu passe par le premier point q de la division de l'arc, et que son assemblage avec le longeron $p p$ ne touche pas la moise verticale m . Cette première moise tracée,

la ligne pp est divisée en six parties égales, et par ses cinq points de division et les cinq points de division de l'arc on trace les lignes du milieu des autres moises pendantes.

Le dessous de la traverse horizontale g est tangent à l'arc de cercle. La face inférieure de la première sous-contre-fiche h de chaque naissance est la corde de la première portion de l'arc; celle qui suit j et qui correspond à deux portions de la division de l'arc, s'accorde dans ses abouts avec ceux de la traverse g et de la sous-contre-fiche h . L'inspection du dessin suffit pour faire connaître le reste du tracé.

Les moises pendantes soutiennent le garde-corps dont les poteaux intermédiaires sont tracés par les points qui partagent également en deux parties les intervalles des moises, sur la lisse supérieure et sur la pièce horizontale k qui maintient les madriers du plancher.

Le pont est composé de cinq fermes égales à celle que le dessin représente en entier dans la figure 1. Elles sont parallèles et à égales distances les unes des autres, mais posées de façon que leurs points homologues sont dans des horizontales parallèles à l'axe de la rivière, c'est-à-dire parallèle à la ligne horizontale vz de la fig. 4, suivant le biais qui est de 113° .

Les moises verticales contre lesquelles les fermes trouvent leur appui sont appliquées contre les culées sur des parties de plans verticaux x perpendiculaires aux axes des fermes, de façon que la poussée s'exerçant sur ces plans, qui sont entaillés dans la maçonnerie des culées, il ne peut y avoir aucun mouvement de torsion résultant du biais.

La partie à gauche, dans la figure 4, présente la charpente de la travée du pont vue en dessous; celle à droite montre le dessus des madriers du plancher, cloué sur les longerons perpendiculairement à l'axe du pont.

Pour tenir les fermes à leurs distances, elles sont liées les unes aux autres par des moises horizontales; l'une de ces moises, celle f , embrasse les moises pendantes verticales qui occupent les sommets des fermes. Son épaisseur et sa largeur étant déterminées, il est facile de la mettre en projection horizontale en $m n$, et de la figurer dans l'élévation. L'épure des deux autres moises k est l'objet qui m'a déterminé à faire ce pont biais pour présenter le premier cas du biais par rapport aux moises. Il est nécessaire, pour mettre ces moises en projection de faire une construction qui donne en même temps les projections et la herse indispensable pour piquer les bois des pans de charpente, formés par chacune de ces moises horizontales et par les moises pendantes qu'elles saisissent.

Pour que l'épure qu'il s'agit de faire ne rende pas la figure confuse, je l'ai reculée, fig. 3, sur le plan horizontal parallèlement à la figure 4.

Par les arêtes des moises pendantes o , les plus rapprochées de l'axe de la rivière, on fait passer un plan qui a pour trace la ligne 1-2-3-4-5, fig. 4, sur le plan horizontal passant par les extrémités inférieures de ces mêmes arêtes; ce plan horizontal a pour trace verticale la ligne $o o$, fig. 1.

La trace horizontale 1-2-3-4-5 est reportée, fig. 3, en 1-2-3. Les projections des moises qui répondent aux points 1-2-3 de la fig. 4 sont tracées sur l'épure, fig. 3, où elles sont ponctuées. Ces moises, rabattues à la herse, sont tracées sur la même figure en ligne pleine; la moise horizontale qui doit embrasser les moises pendantes devant avoir ses faces perpendiculaires à leurs arêtes, elles sont projetées en herse par deux lignes $a e, o i$ parallèles à la ligne 1-2-3.

La position de cette moise est déterminée de façon qu'elle occupe à peu près le milieu des moises pendantes des fermes intérieures; elle est figurée entre les ligne $a e, o i$.

$A b$, fig. 3, est une projection de la moise pendante répondant au point 1 sur un plan vertical perpendiculaire à la ligne 1-2-3, et rabattu sur le plan horizontal en le faisant tourner autour de sa trace horizontale $a d$. La moise horizontale est tracée, en $g g'$, vue par le bout sur cette projection, en faisant $a g$ égal à $1-g'$ mesuré sur la herse; le rectangle $g g'$, qui marque l'équarrissage de cette moise étant tracé, ses arêtes sont projetées horizontalement en $7-7''$, $7'-7''$, $6-6''$, $6'-6''$, et la longueur de cette moise est déterminée par la ligne $6'-7$, fig. 3, qui est la même que celle $z u$ de la fig. 3. Les projections des arêtes de cette moise sont reportées sur la figure 4 en k , et tracées en traits pleins.

La projection de la moise horizontale sur sa grande face est tracée en $x x$, figure 3, avec les entailles qui donnent passage aux moises pendantes.

Nous avons supposé, dans cette épure, que les moises horizontales sont seules entailées, et que les moises pendantes ne le sont point, parce que l'échelle de cette épure est trop petite pour que la projection des entailles sur ces moises pendantes soit distincte. Le tracé de ces entailles ne présente aucune difficulté, puisque dans l'épure, fig. 3, on a la herse, les projections verticales des moises pendantes, et tout ce que nous avons dit sur les herses, en parlant des combles, a dû rendre les charpentiers habiles pour tracer ces sortes d'assemblages.

Le biais de ce pont est tel que les entailles des moises horizontales ont leurs diagonales à peu près parallèles aux arêtes des moises, ce qui convient pour que les deux moitiés de chaque moise puissent être mises en place sur les pièces qu'elles doivent serrer; mais la direction des moises ne satisfait pas toujours à cette condition. Pour compléter ce que

j'ai dit à ce sujet, page 107, tome I^{er}, j'ai indiqué, fig. 7 de la même planche CXXXII, la manière de disposer les faces des joints des moises, lorsque les diagonales des pièces moisées ne sont pas sur la ligne *a b* qui devrait être le joint des moises. Le joint 1-2 est le plus simple, mais il a l'inconvénient de solliciter le glissement des deux parties de la moise; le joint 3-4 est préférable en ce qu'il est perpendiculaire aux axes des boulons qui opèrent la pression des moises.

§ 2. *Système du viaduc biais d'Asnières.*

Le pont-viaduc d'Asnières, établi sur la Seine pour le passage du chemin de fer de Paris à Saint-Germain et à Versailles (rive droite) (1), présente la seconde application des moises transversales dans les ponts biais : ce pont est composé de cinq arches biaises portées sur des piles en maçonnerie. Nous devons à l'obligeance de M. Clapeyron, ingénieur en chef de ce chemin de fer, la communication des dessins de ce beau pont, que nous avons imité pour construire les figures 1, 6 et 7 de la planche CXXXIII, présentant les détails d'un pont du même genre pour servir d'étude.

L'angle du biais, c'est-à-dire celui que fait l'axe du chemin de fer, ou celui du pont-viaduc avec l'axe de la Seine, auquel la direction des piles est parallèle, est d'environ 76° et demi. Sous cet angle les projections des fermes du pont n'auraient pas été assez distinctes les unes des autres pour l'objet que je me proposais dans une épure d'étude; j'ai, en conséquence, réduit l'angle du biais à 68°, pour obtenir la netteté que je désirais dans l'épure, sans m'écarter trop du modèle. Du reste, j'ai conservé dans chaque ferme la combinaison des bois adoptée par M. Clapeyron; les arches ont environ 30 mètres d'ouverture et 4^m,80 de flèche. J'ai supposé que ce pont, dont la figure 1, pl. CXXXIII, représente l'élévation, n'a qu'une arche, et qu'elle est établie entre les deux culées; j'ai supposé, enfin, que le garde-corps était en fer au lieu d'être en bois, le tout afin qu'on ne puisse pas confondre ce qui est ici une étude avec le pont exécuté à Asnières par M. Clapeyron, auquel appartient tout le mérite de ce bel ouvrage.

La figure 6 est le plan d'une des culées.

Le cintre de chaque ferme est composé de quatre cours de courbes équarries et gabariées à vives arêtes avec le plus grand soin. Ces cintres

(1) Ce pont a été remplacé par un pont en tôles assemblées. (Voir l'ouvrage de MM. Molinos et Pronnier sur les ponts métalliques.)

sont établis chacun comme s'ils devaient faire partie d'un pont droit ; ils sont parallèles et à égale distance les uns des autres ; mais leurs naissances portent dans les culées sur des plans dont les horizontales sont perpendiculaires aux axes des fermes ou à celui du pont, ces plans étant entaillés dans les culées pour recevoir les portées de ces fermes. Les intrados des arcs sont, en conséquence de cette disposition, projetés verticalement sur les arcs de cercle $a b e$, $a' b' e'$, $a'' b'' e''$, $a''' b''' e'''$, dont les centres sont dans les verticales, $b o$, $b' o'$, $b'' o''$, $b''' o'''$, et, faute d'espace, ne se trouve point sur la planche. L'arc de cercle du milieu, $a'' b'' e''$, est divisé en dix-huit parties égales entre deux points rapprochés des naissances $a'' e''$. Si l'on imagine maintenant par le centre du cintre du milieu, $a'' b'' e''$, une horizontale perpendiculaire à ce cintre et à l'axe du pont, et que par cette horizontale et par les points de division on fasse passer une suite de plans, tous ces plans marqueront par leurs traces sur le plan de projections verticales, les positions des moises pendantes de toutes les fermes ; la ligne xy est une de ces traces. Les traces de ces plans, sur le parement de chaque ferme, sont les lignes de milieu des moises pendantes, et ces mêmes plans contiennent les joints des moises transversales qui réunissent les fermes.

Ayant donc tracé sur la ferme des têtes les épaisseurs des moises pendantes parallèlement aux traces des plans passant par l'axe horizontal commun, les épaisseurs se trouvent tracées sur toutes les autres fermes et les quantités dont elles dépassent les cintres sont les mêmes dans toutes ces fermes.

Les largeurs des moises transversales sont marquées aussi par des parallèles aux lignes du milieu des moises pendantes, les positions des moises transversales sont déterminées, pour celle de l'intrados, avec la seule condition de toucher deux arcs des fermes des têtes, et pour celles de l'extrados par la condition d'être parallèles aux premières, et les plus rapprochées possible du cintre. Il est aisé de voir que, par cette construction, la ligne du milieu des moises transversales est dans une surface gauche du même genre que celle de la voûte désignée sous le nom de *biais passé*, dans la coupe des pierres (1).

On voit que cette génération donne la plus grande facilité pour le

(1) Dans le biais passé, on suppose qu'une porte est percée dans un mur suivant une direction biaise ; les arêtes apparentes de la voûte sont, sur les parements du mur, des demi-cercles, et la surface de la voûte est engendrée par une ligne droite qui se meut en s'appuyant sur les deux cercles des têtes, et qui passe par l'axe moyen perpendiculaire au mur, ou, ce qui est la même chose, la génératrice est constamment dans le plan qui passe par cet axe et qui détermine les joints de la voûte.

piqué des assemblages des moises transversales et des moises pendantes, puisque les herses de chaque pan formé par cinq moises pendantes du même rang, et les deux moises transversales qui les saisissent, sont de la plus simple construction.

Supposons que sur un plan perpendiculaire au plan de la projection verticale, ayant pour trace la ligne $x y$, on projette les moises pendantes et les deux moises transversales; ce plan coupera le plan horizontal des naissances, dont la trace est la ligne $a e$ suivant une ligne projetée au point y ; cette ligne est marquée $y y$, fig. 7.

Si la projection faite sur ce plan est rabattue sur le plan horizontal, fig. 7, cette figure représentera la herse du pan de charpente formé par les cinq moises pendantes qui répondent à la ligne $x y$ de la figure 1.

Cette projection en herse est très-facile à faire, puisque toutes les distances à la ligne $y y$ sont prises sur la ligne $x y$ de la figure 1, à partir du point y , et réciproquement; les points qui déterminent les extrémités des moises transversales sont reportés de la figure 7 sur la figure 1, pour y marquer ces extrémités en projection verticale.

Dans le biais passé de la coupe des pierres, la douelle de la voûte est une surface gauche, et les sections faites dans cette surface, par des plans verticaux parallèles aux parements des murs, ne sont point égales aux arcs des deux têtes de la voûte; il faut construire par points les courbes qui résultent de ces sections pour tailler les vousoirs de la voûte.

La rigueur de cette construction ne conviendrait pas dans un pont en charpente, parce que les arêtes d'intrados des cintres intermédiaires ne seraient point des cercles, ce qui introduirait une difficulté dans l'exécution, et, par ce motif, il est préférable, en charpenterie, que tous les cintres soient égaux: il s'en suit que, dans une coupe représentée fig. 7, les points v, v', v'', v''', v'''' , des milieux des coupes des cintres ne sont point sur une ligne droite $r s$; c'est un bien faible inconvénient qui ne nuit en rien à la régularité des fermes, ni à la solidité du pont, ni à son aspect. Dans chaque pan de cette sorte, la moise transversale d'intrados $s r$ est établie en contact ou au moins tout près du cintre des têtes; les cintres intermédiaires ne la touchent point, et la moise transversale d'extrados $t u$, parallèle à la première, touche le cintre du milieu seulement.

Les moises pendantes n'ayant pas la même position sur tous les cintres, il s'ensuit que les croix de Saint-André qui occupent les compartiments formés par ces moises ne sont point égales; elles sont assujetties à s'assembler dans ces mêmes moises, au même niveau, sous les longerons et à la même distance des moises transversales, ce qui donne leurs projections, que l'on remarque sur la fig. 1.

Des croix de Saint-André sont établies aussi entre les moises pendantes

d'une ferme à l'autre et dans chaque pan formé par ces moises transversales, comme on les voit dans l'un de ces pans, fig. 7.

Cette multiplicité de moises pendantes, de moises transversales et de croix de Saint-André, forme sans doute un très-grand volume de bois, et elle charge d'un poids considérable les cintres qui soutiennent le pont; mais il faut considérer qu'il s'agissait de lui donner la stabilité nécessaire pour résister au passage des convois très-pesants du chemin de fer occupant le plus souvent la majeure partie de la longueur du pont.

XI.

PONTS EN BOIS RONDS.

On construit, dans les contrées où les bois résineux sont abondants, des ponts en bois ronds, tels que la nature les produit. Ces ponts ont au moins autant de simplicité, d'élégance et de solidité que les ponts construits, à grands frais de main-d'œuvre, en bois équarris. Ils consomment moins de bois. Le pont de Bon-Pas, sur la Durance, et le pont du Var, sont construits entièrement en bois ronds de mélèze. Pieux, moises et écharpes des palées; longerons, sous-longerons, contre-fiches et moises des fermes; planchers portant des chaussées pavées, tout est en bois ronds. Des dessins de ces ponts font partie du recueil lithographié de l'École des ponts et chaussées. Nous ne les reproduisons point, parce que, à l'exception de cette particularité de la forme ronde de tous les bois, leurs combinaisons diffèrent peu de celles des ponts en bois équarris, fig. 39 et 41 de la planche CXXXVII. On n'a dressé pour leur exécution que d'étroites surfaces de contact pour la superposition des longerons sur les sous-longerons; on n'a taillé que les surfaces justement nécessaires au contact entre les moises et les pièces qu'elles saisissent, et tous les autres assemblages sont exécutés comme ceux que nous avons décrits tome I^{er}, page 270 et pl. XVI. Les travées du pont de Bon-Pas ont 12 mètres; celles du pont du Var en ont 15.

XII.

BRISE-GLACE.

Les brise-glace sont des constructions en charpente que l'on établit en amont des palées des ponts pour tenir lieu des avant-bees des piles en maçonnerie. On donne à ces constructions autant de solidité qu'il est possible, vu qu'ils doivent recevoir les chocs réitérés des glaçons charriés par les rivières : s'ils étaient rompus, les ponts seraient très-compromis. La ruine de plusieurs ponts a été la conséquence de la faiblesse de leurs brise-glace qui n'ont pu résister aux violents efforts des débâcles; c'est la fréquence des catastrophes de ce genre qui a déterminé M. Wiebeking à adopter, partout où cela lui a été possible, ses arches à grandes portées.

On comprend quelquefois les brise-glace dans la combinaison des palées, dans la vue de profiter d'une partie de la force des palées pour augmenter celle des brise-glace, comme on en voit un fig. 39, pl. CXXXVII; mais cette disposition a l'inconvénient que les vibrations causées par le choc des glaçons se communiquent au pont.

Dans les fig. 4 et 5, pl. CXXIX, on a représenté, en amont des palées du pont de César, des espèces de brise-glace; dans la saison où l'armée romaine marchait contre les Germains, il ne s'agissait point de détourner les glaçons, mais bien d'arrêter le choc des corps flottants que les ennemis auraient pu envoyer par le courant du fleuve pour détruire le pont.

La fig. 43, pl. CXXXVII, représente un brise-glace composé d'une seule file de pieux couronnés par un chapeau et liés par une moise horizontale de fond et une moise en écharpe.

La fig. 44 représente l'élévation et la fig. 45 représente la projection horizontale d'un brise-glace plus solide tiré de l'ouvrage de M. Gauthey; il est formé de deux pans de charpente établis sur des pieux qui servent de fondation. Cette disposition est consolidée dans ses assemblages par des ferrures, que la petitesse de l'échelle du dessin ne permet pas de représenter.

On construit sur l'Oder des garde-glace qui sont composés de bois couchés en forme de chaises à claire-voie; ces bois sont boulonnés les uns sur les autres et ils forment des pyramides tronquées et couchées qui présentent leurs plus petites bases au courant.

Les brise-glace qui sont en avant des palées du pont de Custring forment également des pyramides tronquées, couchées dans le lit du fleuve suivant le cours de l'eau; elles sont composées de files de picus verticaux et de pièces longitudinales qui leur sont assemblées à entailles en les croisant. Les deux rangs de cases ainsi formées sont occupés par des croix de Saint-André, le dessus se termine par deux plans inclinés et l'arête qui forme le fâlage est aussi inclinée : le tout est boulonné et recouvert de bordages.

XIII.

EMPLOI DU FER DANS LES PONTS EN CHARPENTE.

Le fer est employé dans les ponts en charpente exactement dans les mêmes circonstances que dans les charpentes des combles.

Nous citerons cependant quelques exemples de modes particuliers de l'emploi du fer dans ces édifices.

§ 1. *Ancien pont de la Cité, à Paris.*

L'ancien pont qui communiquait de l'île de la Cité à l'île Saint-Louis était une construction assez lourde en charpente, servant uniquement aux piétons. Il avait été bâti en 1710, et plusieurs fois emporté par des débâcles. Dès 1718, un droit de péage d'un liard (1) par piéton avait été accordé aux entrepreneurs qui l'avaient rétabli, et le nom de pont Rouge lui avait été donné à cause de cette couleur dont tous ses bois avaient été peints. Il fut reconstruit en 1802, encore en charpente, mais suivant un autre système de construction, dans lequel le fer se trouvait être un des premiers éléments de sa solidité, quoiqu'il n'y fût employé qu'en tirants destinés à s'opposer à l'écartement des fermes.

Nous donnons, fig. 1, pl. CXLIII, une élévation, et fig. 2 une coupe en travers de ce pont et nous empruntons à M. Gauthey (tome II, page 63) la description de la construction de ce pont.

« On a encore adopté les poutres cintrées pour les fermes de tête du pont de la Cité. Ce pont offre deux arches de 31^m,08 d'ouverture aux naissances sur 1^m,95 de flèche. Les cintres sont composés de quatre cours de pièces de 27 centimètres d'équarrissage boulonnés avec soin,

(1) Le quart d'un sou ou un centime un quart.

et l'on a placé quelques contre-fiches et quelques décharges qui se prolongent dans le parapet; ce pont, dont la largeur d'une tête à l'autre est de 9^m,07, n'a pas de fermes intermédiaires. L'intervalle des deux fermes de tête est occupé par une sorte de voûte à double courbure, composée de pièces jointives placées dans le sens de la longueur du pont qui porte sur les deux fermes de tête et qui, dans ce sens, a la même courbure qu'elle; sa poussée latérale est retenue par des tirants en fer placés au-dessus et au-dessous qui s'opposent à l'écartement des têtes; quand on fit le remblai dans les reins, un de ces tirants vint à casser, et cet accident, peu important puisqu'il provenait probablement de quelques défauts dans le fer, engagea à décharger les reins et à faire porter le pavé sur un plancher de nouveau soutenu par les fermes et qui ne prend aucun appui sur la voûte à double courbure. »

Le succès n'ayant point répondu à ce qu'on attendait de ce mode de construction, ce pont a été démoli et remplacé par un pont en charpente à système d'arcs ordinaires.

§ 2. *Ponts de M. Aubry.*

L'Académie de Toulouse avait proposé, comme sujet de prix pour l'année 1786, le projet de la construction d'un pont d'un seul jet sur une rivière de 450 pieds (146^m,18) de largeur. Le Mémoire envoyé par M. Aubry, inspecteur des turcies et levées du royaume, fut couronné. Le projet de M. Aubry diffère de celui de M. Migneron par sa grande portée et par les croix de Saint-André établies dans tous les rectangles formés dans chaque ferme par les quarante-six moises pendantes et les deux principaux arcs composés chacun de trois cours de poutres courbées.

L'arc intérieur de chaque ferme est de 30° 26', la corde de 146^m,18 (450 pieds), son rayon de 278^m,713 (858 pieds) et sa flèche de 9^m,745 (30 pieds).

Le pont est composé de cinq fermes espacées également entre ses deux têtes de 8^m,906 (27 pieds 5 pouces).

Ce qu'il y a de plus remarquable dans ce projet, après sa grande portée qui rendait le succès de son exécution au moins fort douteux, ce sont les moyens proposés par M. Aubry pour maintenir la courbure du bois et pour empêcher les vibrations des fermes.

Les poutres formant les cintres « doivent être choisies, dit M. Aubry, parfaitement droites, et avant de les entailler sur le trait de leur appareil, on doit les courber conformément à la *cerche* de l'arc dont elles font partie,

cette cerche ayant 0^m,045 (1 pouce 8 lignes) de flèche par 9^m,745 (30 pieds) de corde.

» Les moyens de courber ces pièces sur des chantiers, avec des coins aux extrémités et des points d'appui au centre, pour leur faire acquérir cette courbure qu'on regarde à peu près comme spontanée, sont trop simples pour qu'on s'y arrête.

» Ces pièces ainsi courbées, on doit fixer leur ressort avec des tirants de fer droit de 0^m,081 (3 pouces) de large et de 0^m,021 (9 lignes) d'épaisseur qui seront arrêtés à chaque extrémité avec des boulons à vis et écrous, en sorte que cette pièce ne pouvant plus se débâter ni se contracter, on y fera les entailles qui se trouvent indiquées par le dessin.

» Ces tirants doivent être placés dans les faces intérieures des courbes de bordage des têtes pour que les fers soient abrités comme le sont ceux qui seront employés aux courbes des fermes intermédiaires. »

Il suit de cette dernière indication que M. Aubry ne place de tirants en fer que sur une des faces de chaque courbe. Le défaut de symétrie ne peut manquer d'occasionner une torsion dans les courbes. Si l'on employait de pareils moyens, il faudrait placer un tirant sur chaque face plane de chaque pièce qu'on voudrait maintenir courbe.

A l'égard du moyen proposé par M. Aubry pour empêcher la vibration des fermes, il consiste en contrevents, qu'il appelle *pendentifs par pénétration*, établis près des culées de chaque côté du pont et en partie en dedans de la charpente ; ces pendentifs sont composés d'arcs en fer de 99^m,076 (395 pieds) de rayon, et de *tirants en travers* fixés par une extrémité sur la ferme du milieu du pont, et scellés par l'autre bout dans les murs d'épaulement ; ces arcs, enfin, sont soutenus par des consoles également courbes scellées dans les mêmes murs. Nous avons représenté, fig. 6 de notre planche CXLIII, d'après le dessin de M. Aubry, le plan d'une des extrémités du pont avec ses deux pendentifs. Nous ne regardons pas ces arcs en fer, susceptibles eux-mêmes de vibrations, comme propres à arrêter celles du pont ; mais nous n'avons pas voulu omettre dans ce chapitre l'indication d'une construction proposée.

§ 3. Ponts à grandes portées de M. du Molard.

M. le vicomte de Barrès du Molard, officier supérieur au corps royal de l'artillerie, propose, dans un Mémoire qu'il a publié (1), de combiner le fer avec le bois pour construire avec économie des ponts d'une grande portée ;

(1) In-4°, Paris, 1827, chez Bachelier.

moyen pour lequel il avait pris un brevet d'invention le 25 mars 1826, cause pour laquelle probablement aucun essai, du moins que nous sachions, n'en a été fait.

Nous donnons, d'après M. du Molard, fig. 4, pl. CXLIII, la projection verticale d'une demi-travée d'un pont projeté suivant son système de *ponts mi-bois et mi-fer, à grandes portées*.

M. du Molard suppose que ce mode de construction peut servir à établir un pont de deux arches sur une rivière de 188 mètres.

Dans ce système, chaque arc est composé de pièces de bois d'égales longueurs qui se joignent bout à bout et sont comprises entre deux bandes de fer entre lesquelles elles sont boulonnées.

Pour les ponts d'une moyenne portée, M. du Molard ne place qu'un seul cours de *bois vousoirs* entre les bandes de fer, et, pour les ponts d'une grande portée, il établit deux cours de poutres entre les mêmes bandes.

Vu l'existence du brevet d'invention de M. du Molard, personne ne pouvait se servir de ce moyen sans sa participation; nous renvoyons, pour de plus amples détails, ceux qui seraient disposés à en faire quelques essais, à son ouvrage, nous contentant d'avoir donné une description succincte de son système, et la figure que nous avons copiée dans son ouvrage et à laquelle nous avons joint, fig. 5, la projection d'une travée d'un pont de service qu'il a composé pour aider pendant l'exécution au levage du pont dont nous venons de parler.

§ 4. Contrevents en fer du pont d'Ivry.

Les contrevents en fer, pour avoir une utilité réelle, doivent agir comme tirants, et par conséquent être en fer forgé; c'est ainsi que sont ceux du pont d'Ivry. Ils sont établis au-dessus de chaque arche, dans le plan des faces supérieures, où ils forment des croix de Saint-André qui ont la propriété d'attacher invariablement le sommet d'une ferme de tête aux extrémités opposées des piles contiguës.

Nous avons indiqué en lignes ponctuées les parties de ces contrevents qui correspondent au fragment de plan, fig. 11, de la planche CXXXIII. En les plaçant dans des plans à peu près horizontaux, au niveau du dessus du pont, ils sont dans la position où ils agissent avec le plus de puissance pour s'opposer au déversement des fermes, puisqu'ils empêchent le changement de figure du dessus du pont.

Par cette disposition, il ne peut y avoir aucun mouvement, les fermes étant toutes solidaires des fermes de têtes.

Les deux tirants ou contrevents qui lient le milieu de la ferme de tête

d'amont aux extrémités d'aval des piles voisines, retiennent le déversement en dehors de cette ferme; de même les deux tirants qui lient le milieu de la ferme de tête d'aval aux extrémités d'amont des mêmes piles empêchent le déversement de la ferme d'aval vers le dehors, et comme les fermes intermédiaires sont solidaires des fermes des têtes par l'effet des moises horizontales, il s'ensuit que la travée du pont ne peut déverser dans aucun sens. Cette ingénieuse manière d'établir des contrevents est la meilleure, et elle est une nouvelle preuve des avantages que l'art de la charpenterie peut tirer du fer judicieusement employé dans ses combinaisons.

Ces tirants s'étendent immédiatement au-dessus du solivage du plancher et sous les madriers longitudinaux; ils sont composés de bandes de fer de 0^m,02 d'épaisseur sur 0^m,065 de largeur posées à plat et entaillées de toute leur épaisseur dans les solives.

Pour conserver l'action des tirants en fer exactement dans le même plan, M. Emmerly établit des moufles à chaque point de leurs croisements, de façon que l'un d'eux passe entre les joues de la moufle de l'autre. Les attaches des tirants sur les fermes des têtes sont formées au moyen d'équerres plates dont chaque branche est terminée par une moufle pour saisir le bout d'un tirant terminé par une rosette. Les jonctions bout à bout des tirants et leurs tensions sont effectuées encore par le moyen de moufles à plat dont les coins de tirage sont verticaux, ce qui a l'avantage de permettre aux coins de descendre dans les mortaises par l'effet de leur propre poids, si tous les tirants éprouvent un relâchement de tension.

Nous renvoyons, au surplus, pour de plus amples détails, à l'excellent ouvrage de M. Emmerly, que nous avons déjà cité, page 412.

XIV.

PONTS SUR CHEVALETS.

On est quelquefois dans la nécessité de construire des ponts provisoires, soit dans les grands travaux pour le transport des matériaux ou pour servir d'échafaudage, soit enfin dans des circonstances militaires. Quoique ces ponts soient établis très-rapidement et par des moyens très-simples, ils ont une grande solidité, qui répond au service qu'on en attend et à la durée qu'ils doivent avoir. Ils servent souvent au passage de très-lourds fardeaux, tels que de volumineuses pierres de taille ou des voitures pesam-

ment chargées de vivres, d'armes et de munitions pour les armées, et même des pièces de canon de gros calibre sur leurs affûts.

Lorsqu'on n'a ni le temps ni les équipages nécessaires pour battre des pilots et établir des palées, et que d'ailleurs la rivière n'a guère plus de 2 mètres de profondeur, on remplace ces palées par des chevalets. La figure 16 de la planche CXXXVIII représente un pont sur chevalets; la fig. 17 est une coupe de ce pont par un plan vertical perpendiculaire à son axe suivant xz , fig. 16.

L'inspection de ces deux figures suffit pour faire comprendre cette construction.

On évite, dans la confection des chevalets, les assemblages à tenons et mortaises, à cause du temps nécessaire à leur perfection; des assemblages par simples entailles sont d'une exécution facile; ils ont, pour ces sortes de constructions, une solidité que d'autres assemblages, taillés à la hâte et mal faits, n'auraient point.

Tous les assemblages à entailles sont assujettis par des boulons à vis et écrous, quand on en a à sa disposition; à défaut de ces boulons, par des broches de bon fer liant en guise de clous, et même, à défaut de fer, par de fortes chevilles en bois durs et secs, tels que le frêne et l'aune.

Lorsque la rivière est rapide, on soutient chaque chevalet contre le courant par un arc-boutant, que nous avons indiqué en lignes ponctuées, fig. 17.

Chaque chevalet est construit en entier avant de le mettre à l'eau. Sa hauteur dépend de la profondeur de la rivière, qui est mesurée à l'emplacement qu'il doit occuper, et l'on coupe ses pieds juste aux longueurs convenables pour qu'ils trouvent une assiette solide sur le fond de la rivière, qu'ils soient également inclinés et que la traverse ou poutre soit horizontale et à la hauteur fixée pour le niveau du tablier ou plancher du pont.

Lorsque tous les chevalets sont construits on les conduit aux places qu'ils doivent occuper, sur des nacelles ou sur des radeaux; des nageurs aident à leur établissement.

Les troupes du corps du génie militaire, spécialement chargées, pendant la guerre, de l'exécution des ponts non flottants qui sont nécessaires au service d'une armée en campagne, sont exercées pendant la paix aux différentes manœuvres que la construction d'un pont exige, et ils les établissent avec une rapidité, une précision et une solidité remarquables.

Nous n'avons point à nous occuper de ce mode d'exécution par commandements, quoiqu'il ait de grands avantages pour l'ordre et la célérité du travail, notre but étant seulement d'exposer ce qui se rapporte aux formes de ces constructions.

A mesure que les chevalets sont placés, on pose les longerons sur les traverses; on croise ces longerons pour qu'ils se trouvent solidement établis; on les fixe avec de longues broches ou avec des clameaux, et à défaut de clous, broches et clameaux, on les brèle avec des cordages sur les traverses. Les madriers du plancher peuvent être attachés avec des clous ou des chevilles, ou seulement maintenus par des pièces de rives ou poutrelles *p* qui croisent les madriers à leurs extrémités et qui sont brélées aux longerons ou retenues par des clameaux.

La figure 18 représente un chevalet construit avec plus de solidité que celui de la figure 17. Les deux pieds de chaque bout du chevalet, au lieu d'être liés par une simple traverse basse, sont moisés haut et bas. Les moises du haut soutiennent la traverse principale; en dessous de ces moises une seconde traverse *m* est appliquée de chaque côté sur les faces externes des pieds; les deux traverses sont combinées avec la traverse supérieure par deux chantignoies *o*.

Une croix de Saint-André de chaque côté du chevalet est assemblée sur les deux traverses. Cette combinaison donne au chevalet une grande force et une stabilité parfaite.

CHAPITRE XXXIX.

PONTS MOBILES EN CHARPENTE.

I.

PONTS-LEVIS.

Pour couper ou rétablir à volonté une communication, on emploie des ponts mobiles auxquels on a donné le nom de *ponts-levis* et de *ponts tournants*, suivant que le tablier sur lequel on marche s'élève pour devenir vertical, ou qu'il tourne horizontalement pour interrompre le passage.

Quoique ces ponts soient plutôt des espèces de machines que des ouvrages en charpente, nous allons en décrire quelques-uns des plus simples, dont la construction peut être du ressort du charpentier; il en existe un grand nombre d'autres; mais, comme ils ne peuvent être exécutés qu'à l'aide de pièces de métal qui les rangent dans la classe des véritables machines, nous ne nous en occuperons point.

§ 1. *Pont-levis à flèches.*

Cette sorte de pont-levis doit son origine à la nécessité de couper à volonté tout accès aux portes des forteresses auxquelles aboutissent les ponts fixes établis sur leurs fossés. Nous avons déjà parlé, dans le précédent chapitre, page 372, de ces sortes de ponts fixes en usage sur les fossés des places de guerre, et auxquels on a donné le nom de *pont dormant*. Un pont dormant qui commence au bord extérieur d'un fossé ou contrescarpe se termine à la distance de 4 mètres environ de la muraille dans laquelle se trouve percée la porte qui donne issue dans la forteresse. Le passage, sur cette étendue de 4 mètres, a lieu sur un petit pont qui n'a que la largeur de la porte et qui s'appuie sur le seuil et sur le pont dormant; c'est ce petit pont qui est mobile et qui constitue le *pont-levis*. Divers moyens sont employés pour mouvoir ce pont-levis; le plus simple, dont l'origine ne remonte probablement qu'à l'époque des

châteaux et forteresses du moyen âge, est aujourd'hui encore très-fréquemment employé. Il est en usage, non-seulement pour les places de guerre, mais aussi pour le service de la navigation. Lorsque les ponts sur lesquels on traverse les rivières ou les canaux sont tellement bas qu'ils gênent le passage des bateaux, c'est au moyen de ponts-lévis simples ou doubles que l'on interrompt momentanément le passage sur ces ponts pour livrer celui de l'eau dégagé de tout obstacle.

La figure 2 de la planche CXXXVIII est le profil d'une porte établie dans un des ouvrages de fortification d'une place de guerre et d'un pont dormant qui lui correspond avec le détail de la construction du tablier *e f* du pont-lévis et de la bascule à flèche *c d*, qui sert à mouvoir ce pont-lévis.

La figure 3 est la coupe en travers du pont dormant que nous avons décrit page 372.

La figure 1 est le plan du tablier du pont-lévis.

La figure 4 est le plan de la bascule à flèches.

Le tablier, fig. 1, est une sorte de châssis en charpente composé d'un talon *d*, d'une pièce de tête *c* et des sept poutrelles *z* assemblées à tenons et mortaises avec renforts dans ces deux mêmes pièces; cet assemblage est quelquefois consolidé par quelques ferrures. C'est sur cette charpente que sont cloués les madriers qui forment le tablier sur lequel passent hommes, chevaux et voitures; ces madriers sont garnis de bandes de fer *x* sous les deux voies que parcourent les roues.

La pièce de bois qui forme le talon *d* du tablier est garnie à chacune de ses deux extrémités *d'* d'un tourillon en fer qui porte dans des crapaudines également en fer scellées dans les tableaux de la porte au niveau du seuil.

La bascule est composée de deux flèches *e f*, de trois traverses *h, i, j*, entre lesquelles sont assemblées des contre-fiches. La traverse *h* porte deux tourillons en fer *h'* pareils à ceux du tablier, qui sont reçus dans d'autres crapaudines scellées dans les tableaux de la porte, assez haut pour que toute espèce de voitures puissent passer sous la bascule quand le tablier est abattu. Deux chaînes de fer *m* sont accrochées par leurs anneaux aux crochets en fer qui garnissent les deux extrémités *e* des flèches, et elles sont attachées aux boucles en fer des deux bouts *c* de la tête du tablier. Ces boucles ou anneaux font partie des bandes de fer qui enveloppent les poutrelles et la tête du tablier pour consolider leur assemblage. Deux chaînes de manœuvre *o* sont fixées aux extrémités opposées de la bascule; on conçoit que des hommes, en tirant par leur propre poids ces chaînes de manœuvre, abaissent la bascule qui se meut sur ses tourillons *h'*; les flèches s'élèvent et elles entraînent la tête du tablier du pont-lévis, qui tourne sur ses tourillons pour suivre leur mou-

vement. Ainsi, lorsque la bascule est dans la position ponctuée *e' h f*, le pont-levis est dans celle aussi ponctuée *d m*, et lorsque la bascule est parvenue dans la position verticale, le tablier a pris aussi une position verticale, il masque l'ouverture de la porte et le passage est interrompu. S'agit-il de rétablir le passage en abaissant le pont-levis, la bascule est attirée par les hommes chargés de la manœuvre, tandis que d'autres poussent le tablier avec des gaffes, si son propre poids, qui est en dehors de la verticale passant par ses tourillons, ne détermine pas sa descente, et comme son poids doit l'emporter un peu sur celui de la bascule, il entraîne celle-ci et vient reprendre sa place. On détermine par le calcul la force des bois du tablier et des flèches, le poids du tablier et celui de la bascule, de façon que la machine puisse être mue par un petit nombre d'hommes. A cause des variations hygrométriques de l'atmosphère, on se ménage le moyen de rétablir convenablement le rapport du poids de la bascule avec celui du tablier, au moyen de madriers *y* dont on varie le nombre selon le besoin. Des verrous *u* à serrures, placés à hauteur de la main d'un homme lorsque la bascule est abaissée, servent à la fixer dans les gâches *u* scellées dans les tableaux de la porte; quelquefois des battants de porte sont établis entre le tablier et la bascule.

§ 2. Pont-levis en engrenage.

La fig. 5, pl. CXXXVIII, est le profil du pont-levis de Laken, sur le canal de Wilvorden à Bruxelles. Les ponts-levis de cette construction sont fort en usage sur les canaux de la Belgique et de la Hollande.

La fig. 6 est son plan.

Son tablier est composé de quatre flèches *a, a, a, b* garnies de madriers pour former le plancher; ces flèches se prolongent dans une cave ménagée dans la culée. Le plancher *e*, au-dessus de cette cave, est composé de fortes poutrelles indépendantes des prolongements des flèches, qui sont d'un équarrissage plus fort dans cette partie que sous le tablier mobile, afin de lui faire équilibre; leur poids est augmenté par des entre-toises d'assemblage *f, g, h*. Des tourillons *k* sont fixés à la première entretoise *f*; ils traversent les flèches des rives et portent dans des crapaudines scellées sur les murs latéraux de la cave.

Un quart de cercle denté *m* est fixé sur la première flèche *b*; son centre est dans l'axe des tourillons du tablier, son bord traverse le plancher de poutrelles dans une mortaise. Un pignon *n*, porté par deux chevalets attachés à ces poutrelles, engrène dans le quart de cercle; il est monté sur l'arbre d'une roue à poignée *o*, renfermée dans la loge du gardien

du pont. En tournant la roue à poignée, dans le sens convenable, elle entraîne le pignon, et celui-ci fait mouvoir le quart de cercle, et avec lui la flèche à laquelle il est fixé et le tablier du pont; les prolongements des flèches s'abaissent dans la cave pendant que le tablier s'élève. Par un mouvement de rotation en sens inverse imprimé à la roue à poignée, on rétablit le pont-levis à sa place.

Nous avons marqué en lignes ponctuées la position du pont-levis, de sa flèche et du quart de cercle pendant un instant de son mouvement. Ce pont porte de chaque côté un garde-corps en fer; les deux garde-corps se meuvent avec le tablier.

Un escalier, dont l'issue est dans la loge du gardien, sert à descendre dans la cave.

§ 3. *Pont-levis à tape-cul.*

Le pont-levis qui est représenté par un profil, fig. 7, et par son plan, fig. 8, est employé lorsqu'on ne veut point que les flèches des bascules s'élèvent très-haut. Il se compose de deux flèches principales *a*, qui ont pour longueur celle du tablier jointe à celle du tape-cul; elles sont réunies par une entretoise *b*, à laquelle sont attachés les tourillons en fer *k*, qui traversent les deux flèches *a* et portent dans deux crapaudines. Trois poutrelles *c* sont assemblées dans l'entretoise; elles portent le plancher du tablier et elles posent sur deux semelles *d*, *e*, quand le pont est abaissé; dès que le pont est levé, elles sont supportées par les madriers, qui n'en éprouvent aucune fatigue.

Trois arrière-poutrelles *f* sont également assemblées dans l'entretoise *b*; elles sont soutenues dans le même pan que les flèches *a* par une traverse *h*, à laquelle elles sont boulonnées aussi bien que ces flèches. Les parties externes des flèches *a* et des poutrelles *c* portent le plancher du tablier; les parties internes des flèches *a* et les arrière-poutrelles *f* ne portent rien; ces parties sont uniquement destinées à faire équilibre au tablier, le tout étant porté sur des tourillons *k*.

Entre les arrière-poutrelles *f* sont des poutrelles fixes *i*, qui portent d'un bout sur la culée *r*, de l'autre bout sur les jambettes *j* soutenues par le bas sur des corbeaux en pierre assez élevés pour ne point gêner l'application de la traverse *h* quand le pont est levé.

Les poutrelles *i* portent le plancher qui répond à la cave dans laquelle se meut le tape-cul, et ce plancher est complètement indépendant du pont-levis. Des chaînes appliquées à la traverse *h* servent à la manœuvre; on descend dans cette cave par un escalier latéral qui est ponctué dans la fig. 7.

J'ai indiqué, en lignes ponctuées, une position du pont pour un instant de son mouvement. Le madrier *a*, placé entre le plancher du pont-levis et le plancher fixe, s'enlève quand on doit lever le pont; autrement, il serait impossible de le mouvoir.

§ 4. *Petit pont-levis s'abattant dans le fossé.*

J'ai fait construire, en Espagne, le pont-levis représenté par le profil, figure 13, imité d'une invention de M. Perrault, gravée dans l'ouvrage que j'ai déjà cité page 403; il est d'un service très-commode, lorsque ses dimensions sont réduites à celles nécessaires pour le passage de l'infanterie. Son tablier *a* est composé de trois poutrelles sur lesquelles le plancher est cloué; cette charpente légère porte deux tourillons *k* fixés aux poutrelles latérales.

Ces tourillons sont reçus dans des anneaux fixés aux flèches d'une bascule *b* qui porte, par deux charnières *c*, sur deux petites semelles *d* au fond du fossé. Cette bascule est représentée, fig. 14; elle est garnie de deux chaînes fixées aux extrémités *e* de ses flèches. Lorsque les défenseurs établis dans l'intérieur d'un poste veulent interrompre le passage, ils attirent à eux la bascule au moyen de chaînes; cette bascule devient verticale, le tablier est enlevé de quelques centimètres et il se trouve dégagé de la feuillure dans laquelle il portait. Il peut alors être abattu dans le fossé en tournant autour de ses tourillons placés alors en *k'*; des arcs de cercle ponctués indiquent les chemins parcourus par les extrémités des flèches et par celles du tablier.

§ 5. *Grand pont-levis s'abattant dans le fossé.*

On a plusieurs fois cherché la construction la meilleure pour un pont-levis s'abattant dans le fossé sur lequel il est établi, la plus grande difficulté était de fixer le tablier, lorsqu'il était horizontal, de façon qu'il présentât toute sécurité dans son usage. Dans tous les essais et projets qui ont eu lieu, les verrous, les volets, les poutrelles additionnelles qu'on avait imaginé d'employer ne garantissaient point une solidité parfaite, propre à prévenir tout accident pendant le passage; je crois avoir complètement résolu cette difficulté dans le pont-levis que j'ai inventé et fait exécuter en 1810, au fort Santa-Helena, devant l'Alhambra de Grenade, en Espagne.

La figure 9 de la planche CXXXVIII est un profil de ce pont.

a a est la culée du côté de l'intérieur du fort; cette culée est représentée ici en maçonnerie pour simplifier la figure; elle était en charpente.

b, pile représentée ici en maçonnerie pour simplifier la figure; elle était en charpente.

c, tablier du pont composé de sept poutrelles parallèles réunies par les madriers formant le plancher du pont, et par une bande de fer dont les bouts renflés et arrondis formaient les tourillons *k* du tablier, placés à peu près aux deux cinquièmes de sa longueur totale.

d, poutrelles formant essieu; elle était fendue en deux parties entre lesquelles une bande de fer est incrustée; cette bande de fer était terminée à chaque bout par un tourillon *h*. Les deux parties de cette poutrelle étaient réunies et très-fortement serrées par des boulons, afin qu'elles ne pussent point se tordre.

m, grands leviers exhaussés par deux longues chantignoles *n* et fixés aux extrémités de l'essieu *d* par deux forts étriers en fer.

La figure 10 représente, sur un plan parallèle aux leviers et à l'essieu, l'assemblage de ces trois pièces.

Les tourillons *h* de l'essieu *d* étaient reçus dans deux crapaudines fixées sur le haut de la culée; les tourillons *k* du tablier étaient reçus dans deux autres crapaudines attachées par des boulons sur les leviers *m*.

Le pont étant placé dans la position où il établit le passage par un mouvement fort simple et très-rapide, la communication est interrompue.

Au moyen des chaînes *o*, fixées aux extrémités des leviers *m*, ces leviers sont abattus jusque sur le sol; leur mouvement fait tourner l'essieu *d* sur ses tourillons *h*. Dans ce mouvement le tablier est enlevé, la ligne *h x* qui passe par les tourillons *h* de la bascule et les tourillons *k* du tablier, prend la position *h x'*, et les tourillons *k* sont portés en arrière en *k'*. Les points de l'extrémité *z* du tablier *c*, en décrivant des arcs de cercle égaux à celui *k k'* que décrivent les tourillons, s'élèvent et échappent le seuil *v*; dans le même temps l'extrémité *y* du même tablier s'élève et s'éloigne de la feuillure qui la recevait, et elle peut, en décrivant l'arc de cercle *y s*, s'abattre dans le fossé. L'équilibre entre les deux parties était obtenu par une addition de bois sous le plancher de la culée du tablier.

J'ai représenté en lignes ponctuées, dans la fig. 9, le tablier du pont dans sa position horizontale *z y*, quand il est enlevé au-dessus de ses feuillures par l'effet du mouvement des leviers *m*, et dans sa position verticale *t s*, lorsqu'il est abattu dans le fossé et logé dans l'encastrement de l'escarpe creusé pour le recevoir, de même qu'une chambre horizontale est ménagée sur la culée pour la place qu'il occupe lorsque le passage est établi par une manœuvre contraire à celle que nous venons de décrire.

On voit que, par cette disposition du pont, aucune fausse manœuvre ne peut causer d'accident, et qu'aucune méprise ne peut être funeste.

II.

PONTES TOURNANTS.

Les pontes tournants se meuvent horizontalement en tournant sur un axe vertical ou autour d'un centre qui en tient lieu. Ils sont simples ou doubles, suivant qu'ils sont destinés à servir de clôture, ou simplement à donner passage à des embarcations qui ne pourraient naviguer sous des pontes fixes, trop rapprochés de l'eau.

§ 1. Pont tournant des Tuileries.

Un des pontes tournants les plus anciens de France était celui des Tuileries, construit en 1716 par le frère Nicolas Augustin, sur le fossé qui séparait le jardin des Tuileries de la place de la Concorde, alors place Louis XV, à Paris.

La fig. 1 de la planche CXXXIX est le plan général de la situation de ce pont, qui a été supprimé, vers 1800, pour faire place à la grille qui sert aujourd'hui de clôture et donne une plus large issue.

a, partie du jardin des Tuileries.

b, partie de la place Louis XV, aujourd'hui place de la Concorde.

c, fossé de clôture séparant le jardin de la place.

d, terrasses élevées.

e, piles portant les statues de Mercure et de la Renommée montées sur des chevaux ailés.

ff, pont tournant.

g g, piles saillantes faisant partie de la culée du pont.

Les fig. 5 et 6 sont les élévations et le plan de ce pont, qui était en deux parties se manœuvrant toutes deux du jardin; son objet étant d'empêcher l'entrée de ce jardin, notamment pendant la nuit.

Dans ces deux figures on suppose que l'une des parties *A* est ouverte, c'est-à-dire dans la position pour livrer passage, et l'autre *B* est fermée, c'est-à-dire qu'elle a pris la position pour interrompre ce passage. Lorsque les deux parties du pont étaient rapprochées, le passage était libre; au contraire, lorsqu'elles étaient séparées et chacune placée le long de la culée, le passage était complètement interrompu sur une largeur de fossé de 5 mètres et demi.

Lorsque les tabliers du pont étaient dans leurs positions extrêmes, ils se trouvaient supportés, par leurs deux extrémités, sur leurs poteaux et sur la contrescarpe b du fossé, ou sur les piles saillantes g de la culée intérieure. Mais pendant le mouvement, tant pour les ouvrir que pour les fermer, chacun n'était soutenu que sur son axe vertical ou poteau tournant, et par des contre-fiches courbes assez ingénieusement disposées pour donner aux trois longerons du tablier de solides points d'appui et reporter l'effort de leur poids sur les poteaux tournants.

Un premier système de contre-fiches formait un assemblage plan suivant la projection $a b$. Cet assemblage ou pan se trouvait formé d'une contre-fiche droite $a' b'$, au plan fig. 7, et de deux contre-fiches courbes v . Les secondes contre-fiches $c d$ intermédiaires, entre les longerons $e f$ et les premières contre-fiches $a b$, étaient à double courbure, sauf celle du milieu y ; les deux autres $x z$ participaient de la courbure donnée par le profil $c d$ et l'un des profils $o p$ du pont vu par le bout, fig. 5.

Chaque poteau tournant était garni à son pied q d'un pivot vertical en fer qui était reçu dans une crapaudine; dans le haut, la partie arrondie s , garnie de fer, était prise entre quatre petites roulettes montées dans un châssis scellé dans le mur. Le détail de ce châssis, qui était en fer, est représenté sur une échelle plus grande, fig. 8, dans laquelle le cercle rempli par des hachures est la coupe horizontale de la partie arrondie du poteau tournant et de sa frette.

La jonction des deux parties du pont était dentelée; au-dessus des poteaux tournants les tabliers étaient arrondis; sans cette précaution, on n'aurait pas pu les mouvoir. Trois volets en bois servaient à remplir les vides que laissaient les arrondissements; ces volets étaient fixés à la culée par des charnières; ils sont représentés sur la fig. 7. Celui m est fermé, parce que la partie A du pont est ouverte; ceux n et u sont couchés sur le seuil, l'autre partie B étant le long de la culée. Ces volets étaient garnis sur leurs bords de bandes de fer circulaires et minces pour boucher les joints entre eux et les planchers du pont. Un garde-corps en fer garnissait les culées et les rives de chaque partie du tablier t en r seulement; les espaces restant entre les garde-corps du pont et ceux de la culée étaient fermés par des parties de garde-corps $t x$ tournant à charnières comme des portes sur les derniers montants t . Des petits carrés indiquent sur les bords des culées et sur les rives du pont les emplacements des montants en fer du garde-corps.

Ce pont a été plusieurs fois imité et construit pour des canaux; il en existe un sur le canal d'Amsterdam à Utrecht, qui n'en diffère que parce

que les contre-fiches ont été construites en fer forgé (1); rien n'empêchait qu'on fit les poteaux tournants en fer coulé.

§ 2. *Pont tournant simple.*

La figure 10, pl. CXXXIX, représente la coupe d'un pont tournant établi sur un canal dont les deux rives sont en maçonnerie.

La figure 13 est le plan de ce pont; au lieu de se mouvoir sur un poteau tournant vertical comme le précédent, ce pont est porté sur le massif en maçonnerie d'une culée p dans laquelle est scellé, d'une manière immuable, un axe vertical et cylindrique c en fer forgé. C'est autour de cet axe, qui répond à la ligne du milieu de la largeur du pont, que se fait son mouvement de rotation. Lorsque le pont est en position de livrer le passage, comme le dessin, fig. 13, le représente, il pose sur ses deux culées, p, q ; mais lorsqu'il tourne, il n'est plus soutenu que sur la culée qui porte l'axe, et il tomberait infailliblement si la partie qui est en deçà n'était pas suffisamment pesante pour faire équilibre à l'autre partie qui se trouve sans appui. Le pont proprement dit est composé de six longerons a et d'autant de sous-longerons b ; les longerons sont assemblés dans une pièce de tête d coupée en arc de cercle, pour que le tablier s'applique mieux contre la surface verticale de la feuillure qui doit le recevoir, et qui, elle-même, à cause du mouvement de rotation, est appareillée en arc de cercle dont le centre est dans l'axe c . Le fond de cette feuillure est garni d'une semelle de bois e pour éviter le frottement des bois du pont contre la pierre.

Par leurs extrémités opposées, les longerons et sous-longerons sont assemblés avec deux autres pièces $f k$ qui sont, par la même raison, cintrées selon un cercle qui a également son centre dans l'axe; une semelle de bois o en arc de cercle garnit la feuillure au-dessous de la pièce k . La combinaison des sous-longerons et des traverses $g h$, assemblées à entailles, forme ce que l'on nomme la culée en charpente, qui doit l'emporter de beaucoup en poids sur celle du tablier, en supposant que le point d'appui est situé sur les bords de la maçonnerie dans l'axe vertical de la roulette qui répond à ce point. Pour obtenir que la puissance de la culée en charpente l'emporte sur celle de la culée du tablier, afin de prévenir tout accident et économiser le bois qu'on emploie à cet effet dans les assemblages de la culée, on augmente son poids au moyen

(1) Le dessin de ce pont est représenté sur la plan XXXII du Recueil de Krafft.

de poids x que l'on place dans un coffrage réservé dans la partie la plus rapprochée du talon du pont.

L'axe vertical c passe dans une douille de fer fixée dans la traverse h au moyen de quatre boulons; cet axe ne suffirait pas pour maintenir le tablier du pont dans la position horizontale pendant son mouvement. Quatre roulettes de bronze, et quelquefois six, diamétralement opposées, deux à deux, sont réparties sous la culée à égale distance de l'axe, et elles roulent sur une bande de fer circulaire n qui garnit la pierre sur les voies que ces roulettes doivent suivre.

Un garde-corps en fer est placé des deux côtés du pont; chaque montant a une embase qui fixe sa position sur le longeron, il se prolonge en dessous en forme de boulon pour traverser les longerons et les serrer au moyen d'un écrou. La lisse supérieure de chaque garde-corps se prolonge au-delà de la culée pour servir de levier, afin de faciliter la manœuvre du pont lorsqu'il s'agit de le mouvoir.

La figure 14 est le détail d'une des roulettes de ce pont tournant; quoique cette roulette r ne tourne que sur un axe $a b$, elle est sphérique. Cet axe, après avoir traversé la roulette, est fixé dans une chappe $c c$ par deux goupilles; chacun des ailerons c de cette chappe est percé d'un trou dans lequel passe l'extrémité taraudée d'un boulon $d e$ portant une embase f ; chaque boulon est attaché à une des pièces de la culée qu'il traverse par un écrou g . La position de chaque bout de la chappe est fixée par un écrou i et un contre-écrou j , de telle sorte que, le pont étant posé de niveau sur son axe, et portant sur les semelles e, o , qui garnissent les feuillures, on amène aisément les quatre roulettes en contact avec la bande circulaire m , scellée de niveau et sur laquelle elles doivent rouler.

§ 3. Pont tournant double.

Lorsque les espaces à franchir ont une largeur trop grande pour la portée qu'on peut donner à un pont tournant simple, on est obligé d'en établir deux, un sur chaque rive, ce qui forme un pont tournant double. Parmi un grand nombre de combinaisons de ponts tournants doubles, dont on trouve les descriptions dans divers ouvrages, et notamment dans le Recueil de Krafft, j'ai choisi, pour le comprendre dans cet ouvrage, un de ceux exécutés sur un canal de navigation à Utrecht, qui est figuré dans la planche XXXVI de ce Recueil; parce qu'en outre de sa bonne construction, qui est légère et élégante, il présente les différentes conditions auxquelles on doit satisfaire dans ce genre d'ouvrage.

La fig. 2, pl. CXXXIX, est une coupe longitudinale de ce pont tournant double par un plan parallèle à son axe, et perpendiculaire par conséquent à l'axe du canal sur lequel il est établi. Cette coupe est faite suivant la ligne xy de la fig. 3, qui est une coupe transversale par un plan perpendiculaire à l'axe du pont; cette coupe est prise suivant la ligne vz de la fig. 2.

La fig. 4 est, sur une échelle cinq fois plus petite que celle des fig. 2 et 3, un plan général de ce double pont tournant.

A est le canal, B et D sont ses deux rives, E est un des ponts tournants ouverts, F est l'autre fermé. On conçoit que, pour que le passage soit ouvert, il faut que le tablier F soit dans la position F ; on conçoit également, pour que les deux ponts puissent se joindre au milieu de la largeur du canal, qu'il faut qu'ils se touchent suivant un arc de cercle xy , décrit du centre c de l'un des deux.

Pour manœuvrer ces ponts, il faut procéder dans l'ordre suivant :

Les deux tabliers étant en contact dans les positions E et F pour livrer le passage, il faut, pour l'interrompre et fermer le pont, que le tablier de la rive D soit tourné le premier pour le faire passer de la position F à la position F' ; le tablier E peut alors être tourné pour lui faire occuper la position E' . On voit que, pour rétablir le passage, c'est le tablier E qu'il faut ouvrir le premier, afin qu'il puisse recevoir le tablier F .

On voit, dans cette même figure, comment doivent être disposées les chambres des culées des deux ponts.

Les fig. 2 et 3 montrent que ce pont est composé de cinq fermes, dans chacune desquelles un cintre a , une partie de longerons b et une sorte de blochet c , forment tout le système du pont. Des pièces d , e , f , g , forment des entretoises, qui conjointement avec les madriers du plancher, unissent les fermes. Les quatre pièces i , k , m , n forment un massif de culée; toutes ces pièces sont boulonnées à celles des fermes. La pièce n reçoit dans une douille le bout d'un tourillon vertical o , qui ne porte en aucune façon le tablier, mais qui l'assujettit seulement de manière que lorsqu'il se meut, c'est autour de l'axe de ce tourillon qu'il tourne. Pour qu'en tournant le tablier soit maintenu dans sa pente, six roulettes sont placées en dessous de la culée en charpente; deux des roulettes sont attachées à la pièce f , deux autres à la pièce n , et enfin deux autres en p aux extrémités des longerons des rives; ces six roulettes roulent sur des bandes de friction scellées sur les maçonneries; elles sont toutes construites comme celles représentées par deux projections, fig. 11 et 12, sur des échelles plus grandes que celles des fig. 2 et 3. Chaque roulette r est montée dans une chappe h , et est traversée par un axe q formé d'un boulon à tête avec taraudage et écrou.

La chappe est terminée par deux tiges de boulons d'une longueur suffisante pour traverser les pièces d , m ou f , et y être fixées au moyen d'écrous,

Ces roulettes doivent être coniques, et, pour qu'en roulant il n'y ait pas complication de frottement, le sommet de la surface conique de chaque roulette, et celui de la surface conique de la bande de fer sur laquelle le mouvement de ces roulettes se développe, doivent se confondre en un seul point sur l'axe vertical de rotation du pont (1).

Dans les ponts de cette sorte, il faut que le poids de chaque culée dépasse de beaucoup celui de chacune des volées, parce que les têtes des tabliers n'étant pas soutenues sur les rives, il faut que la puissance de la culée tienne lieu de cet appui, et que les extrémités des tabliers puissent soutenir les plus grands fardeaux qu'on peut vouloir faire passer sur le pont.

On remplit cette importante condition sans laquelle le pont tournant ne serait point praticable, d'abord par le calcul qui sert à établir un excédant du poids de la culée sur la volée, au moyen d'un plus grand cube de bois employé; en second lieu, par une addition de parallépipède de fonte de fer dans la culée, comme dans le pont précédent; troisièmement, par une feuillure sur la pièce cintrée du talon qui reçoit un rebord t attaché, par des scellements en fer, sur le contour de la chambre de la culée. On voit que, le pont étant surchargé par un fardeau qui tendrait à faire baisser sa volée, la pièce t retiendrait le mouvement. Pour qu'il n'y ait pas d'oscillation pendant le passage des voitures ou autres fardeaux, et par conséquent point de choc contre la pièce du rebord t , deux vis verticales s sont placées des deux côtés du pont, appliquées à la face intérieure de chaque longeron de rive; ces vis en pressant sur le pavé de la chambre opèrent le contact entre les pièces d et t .

Une de ces vis est représentée en grand, fig. 6; son écrou, garni de deux oreillons, sert à la fixer aux longerons des deux rives.

Pour assurer encore plus la stabilité et que les vis ne soient point trop fatiguées de la fonction qu'elles remplissent, on introduit entre le longeron et le sol de la chambre, sous chaque bout du pont, un rouleau en bois dur r

(1) Je profite de cette occasion pour décrire la construction d'une roulette qui a l'avantage de se disposer toujours convenablement pour produire le minimum de frottement dans son mouvement. a , fig. 19, pl. CXXXVIII, roulette sphérique traversée par un boulon servant d'axe; b , anneau dans lequel l'axe de la roulette est fixé; c , l'une des deux chappes parallèles qui reçoivent les tourillons de l'anneau b . Ces chappes sont fixées à vis et écrous sur la pièce de charpente qui doit tourner autour de l'axe vertical $m n$, et sur la surface conique dont la génératrice est la ligne $z x$. On voit que la roulette a , toujours tangente à la surface conique dont $z x$ est la génératrice et $m n$ l'axe, en roulant impose à son axe l'obligation de passer par le sommet x de cette surface conique. Si, au lieu d'une surface conique, la voie parcourue par la roulette était un plan perpendiculaire à l'axe $m n$ et dont $y n$ serait la trace, l'axe de la roulette prendrait, par l'effet du mouvement de rotation, la position $v n$, et le point n serait le centre de rotation.

que l'on chasse à coups de masse, et que l'on assujettit par des coins; on ôte ce rouleau en le frappant également avec une masse, et l'on desserre la vis *s* quand on veut fermer le pont. Les garde-corps de ce pont sont attachés aux longerons des rives par des étriers en fer à vis et écrous. Lorsque le pont est ouvert, afin de maintenir les deux parties dans leur position, on passe une frette en fer *v* sur les derniers poteaux qui les réunissent; ce moyen est préférable à des verrous ou des crochets qui n'ont pas toujours une grande solidité.

On peut varier les formes des ponts tournants doubles d'une infinité de manières. Ainsi, on peut les composer de longerons et de sous-longerons droits superposés, ou bien de plusieurs fermes ou espèces d'armatures; on peut même donner aux tabliers des soutiens inférieurs, comme serait un châssis ou des contre-fiches, telles que celles *p q*, qui soulageraient la portée du pont et qui s'enlèveraient en tournant autour du point *p* pour s'appliquer sous la volée pendant le mouvement de rotation du pont, comme on en voit un au Havre-de-Grâce; ou bien des poteaux verticaux *e l* servant pour attacher des chaînes *l p*, ou des tringles en fer qui soutiennent les tabliers, comme on en voit à Helvot-Schluss, en Hollande; ou enfin, on peut soutenir le tablier par des potences tournantes qui s'appliquent contre les murs du quai quand le pont est fermé, comme dans la construction d'un ancien pont tournant du Havre. Quel que soit le système que l'on adopte, il faut toujours que les doubles ponts satisfassent aux conditions énoncées dans la courte description que nous venons de faire.

III.

PONTES FLOTTANTS.

Les ponts flottants, comme leur nom l'annonce, ne sont soutenus que par la propriété dont jouissent les corps dont ils sont composés, de flotter à la surface de l'eau. Pour qu'un pont de cette espèce soit praticable, il faut que la force qui le fait flotter soit de beaucoup supérieure à celle qui tend à le submerger. Les ponts flottants sont de deux sortes : ils sont fixes ou mobiles; ces derniers, nommés ponts volants, sont le plus ordinairement formés de deux bateaux sur lesquels on a construit un plancher. Un pont volant sert à passer d'une rive à l'autre; le mouvement de translation lui est imprimé par le courant de l'eau, en le présentant à son action

sous un angle convenable, tandis qu'il est retenu par un câble attaché à un point fixe qui peut-être une ancre. Nous n'avons point à nous occuper de cette sorte de ponts, dont la construction est presque la même que celle d'une partie d'un pont flottant fixe.

Les ponts flottants sont construits au moyen de bateaux ou au moyen de radeaux.

§ 1. Pont sur bateaux.

Les ponts de bateaux sont composés de poutres ou longerons qui portent les planchers et qui sont appuyés sur des bateaux remplaçant les piles ou les palées. Ces bateaux partagent la longueur du pont en travées, comme celles des ponts en charpente; la puissance qui fait flotter les bateaux qui soutiennent le pont doit résister à celle des plus lourds fardeaux qui passent sur chaque bateau. L'invention des ponts de bateaux remonte à la plus haute antiquité, puisque l'on prétend que Sémiramis se servit d'un pont de cette espèce pour passer l'Indus lors de sa malheureuse excursion dans l'Inde, environ 2000 ans avant J.-C. Darius et Xerxès en firent également usage; le premier environ 500 ans avant J.-C., lors de son expédition contre les Scythes, pour traverser le Bosphore de Thrace, nommé aujourd'hui canal de Constantinople, qui n'a pas moins de 662^m,67 de largeur dans l'endroit le plus étroit; le second, une quarantaine d'années, plus tard, traversa l'Helléspont (détroit de Gallipoli ou des Dardanelles) sur un pont de bateaux de 7 stades d'étendue (12 à 1300 mètres; on suppose le stade de 184 mètres).

Dans les temps modernes, les ponts de bateaux ont été en usage sur plusieurs larges fleuves; pendant longtemps, la route d'Allemagne, par Strasbourg, a passé le Rhin à Kehl, sur un pont de bateaux de plus de 400 mètres de longueur; une autre route d'Allemagne traverse le Rhin, à Mayence, sur un pont dont l'étendue est de 523 mètres.

Le pont de bateaux le plus remarquable qui ait été exécuté en France était celui sur lequel on traversait la Seine à Rouen. Il avait été construit vers l'année 1700, par le même frère Nicolas, moine augustin, auteur du pont tournant des Tuileries, dont nous avons parlé précédemment, p. 449. On trouve la description de ce pont dans l'*Encyclopédie* (1).

(1) On trouve aussi dans le *Recueil des machines*, de l'Académie des sciences, tome VII, un projet de M. Pommier, pour un pont de bateaux perfectionné, portant une chaussée pavée, à établir sur une rivière sujette aux marées.

Le père Duhalde, dans sa *Description de la Chine*, rapporte que, près des murailles de Kan-Tchean, il y a un pont flottant dont les bateaux sont attachés par des chaînes, et qu'il y a une portion qui s'ouvre pour le passage des barques.

Nous n'entrerons point dans la description de ces sortes de ponts très-matériels qui ne sont pas d'usage aujourd'hui, qui coûtaient au moins aussi cher que des ponts sur palées, et qui n'étaient point d'un service aussi sûr ni aussi constant.

Nous nous bornerons à donner une idée de la construction des ponts sur bateaux, que l'on construit maintenant lorsqu'il s'agit d'établir rapidement et provisoirement une communication pour traverser une rivière dont la profondeur ne permet pas l'usage des chevalets, et lorsqu'il faut trop de temps pour établir un pont sur palées, ou lorsque les ressources du pays permettent de rassembler promptement des bateaux égaux, de même forme et d'une puissance de flottaison assez grande pour n'en pas trop multiplier le nombre.

C'est surtout pour le service des armées qu'on a occasion d'établir aujourd'hui des ponts flottants : nous avons vu plus haut que c'est aussi au sujet d'expéditions militaires qu'ont été construits les ponts dont l'antiquité nous a laissé le souvenir, et il ne paraît pas qu'on ait rien connu dans ces temps reculés qui ressemble aux divers moyens que les nations modernes ont employés pour construire des ponts flottants. On ne s'est pas contenté des bateaux employés à la navigation des rivières, on en a fabriqué de diverses formes, assez semblables à des caisses, plus propres à la stabilité qu'à la navigation, et spécialement destinés à la construction des ponts : ils ont reçu le nom de pontons. On en a fait avec diverses matières : les uns en bois, d'autres en toile cirée, en cuir (1), appliquées sur des carcasses en bois. Les Français ont été les premiers à en faire en feuilles de cuivre également soutenues par une sorte de charpente; les Hollandais en avaient fait, dit-on, en fer-blanc, qui leur ont été pris à la bataille de Fleurus. Aujourd'hui l'artillerie française paraît avoir donné la préférence aux bateaux construits exprès, pour l'établissement rapide des ponts dans les passages de rivières : on conduit ces bateaux sur des voitures, à la suite des armées; chaque voiture porte un bateau, les poutrelles et les madriers d'une travée du pont avec tous les cordages et agrès nécessaires à sa construction.

L'établissement d'un pont de bateaux s'exécute comme une autre manœuvre militaire, et aux commandements des officiers qui dirigent l'opération. Nous n'entrerons point ici dans le détail de cette manœuvre, qui est une des spécialités des troupes de l'artillerie; nous nous bornerons à ce qui

(1) L'historien Ammien Marcellin fait mention d'un pont de cuir dont l'empereur Julien se servit pour faire passer le Tigre et l'Euphrate à son armée, et l'on croit qu'il était construit sur des bateaux en cuir; peut-être était-il porté sur des outres remplies d'air.

est essentiellement du ressort de l'art du charpentier, c'est-à-dire aux formes de ces sortes de ponts.

La fig. 18 de la planche CXXXVIII est le plan général de la partie d'un pont de bateaux qui touche la rive gauche d'un fleuve.

En *B*, fig. 9, est le plan d'un bateau sur une plus grande échelle.

La fig. 17 est une coupe du pont par un plan vertical perpendiculaire à son axe, dans laquelle est figurée une élévation d'un bateau vu suivant sa longueur.

Nous avons choisi, pour sujet de notre description, la construction d'un pont de bateaux militaires, comme celle qui est la plus complète.

L'écartement des bateaux dépend de leur grandeur et de la grosseur des bois dont on se sert pour longerons. Dans les équipages de ponts, les bateaux sont tous égaux, et les dimensions qu'on a dû leur donner ont fixé leur écartement, qui est de 6 mètres de milieu en milieu.

Il est rare que l'on confectionne des bateaux exprès pour la construction d'un pont qui ne peut être aujourd'hui qu'un établissement passager. Lorsqu'on est forcé de se servir des bateaux en usage sur la rivière où l'on construit un pont, il faut, autant que possible, qu'ils soient égaux. Lorsqu'on a des bateaux de différentes dimensions, il faut de préférence placer les plus forts près des rives et les plus profonds dans le milieu du cours de l'eau ; on doit proportionner la portée des travées à la puissance des bateaux, et faire en sorte que les dimensions des bateaux ne changent pas subitement d'une travée à l'autre, mais que la diminution soit le moins sensible possible.

On doit égaliser les tirants d'eau des bateaux en les lestant avec des pierres, de façon que leurs plats-bords soient dans toute l'étendue du pont au même niveau pour que le pont soit horizontal. A défaut de ce moyen, on peut exhausser les plats-bords de bateaux les plus bas par des bois qui se croisent en chaises, ou l'on peut établir un chevalet dans chaque bateau. Il vaut néanmoins mieux poser les longerons *b*, qui forment le pontage sur les plats-bords en leur faisant traverser toute la largeur du bateau, et même dépasser cette largeur d'environ 30 centimètres ; les longerons sont attachés par des clameaux aux plats-bords des bateaux. Lorsqu'on emploie des pièces de bois pour exhausser les bords des bateaux, elles doivent également être attachées par des clameaux. Pour maintenir l'écartement des bateaux et leur parallélisme, on les lie les unes aux autres par des cordages *c* amarrés aux poupées *v* fixées sur leurs bords.

Sous chaque travée du pont des cordes traversières *d* attachées en croix aux poupées *o*, suivant la diagonale des rectangles formés par les bateaux, et les premiers cordages *c* assurent la stabilité de ces rectangles autant que le permet l'élasticité de tout le système. Les bateaux, et par

conséquent le pont, sont maintenus contre la force du courant du fleuve en les amarrant aux cordages *d* des ancrs mouillées en amont du pont. Un cordage d'ancre doit avoir pour longueur huit à dix fois au moins la profondeur de l'eau; faute d'espace sur le dessin, nous n'avons point projeté les ancrs. Quand une rivière n'est pas rapide, on n'amarre point tous les bateaux, on se contente de les amarrer de deux en deux; quelquefois on amarre aussi les bateaux à des ancrs en aval du pont pour prévenir l'action du vent.

On fait ordinairement vers le milieu de la largeur de la rivière une portière pour livrer passage aux bateaux de navigation, et pour se débarrasser des corps flottants qui pourraient nuire à la solidité du pont. Une portière est marquée fig. 18; elle est composée de deux bateaux *m* et *n* unis par une travée *p* en charpente comme toutes les autres, sinon qu'elle ne dépasse pas les deux bateaux. Pour ouvrir le passage, on fait sortir cette portière de l'alignement du pont au moyen du courant, on la range de côté en aval. Cette portière est remise à sa place lorsque la cause qui a nécessité l'ouverture du passage a cessé; la travée de la portière est jointe aux autres travées au moyen de fausses poutrelles qui portent seulement sur les bateaux de la portière et sur les bateaux des travées dormantes contiguës. Il suffit pour dégager la portière d'enlever quelques madriers répondant à la séparation du pont dormant, et de faire glisser les fausses poutrelles sous le plancher de la portière; on fait l'inverse quand on replace la portière. On amarre diagonalement des câbles à des ancrs, pour empêcher les bateaux voisins de la coupure de se rapprocher quand la portière en est retirée.

Autrefois on amarrait les bateaux à de gros câbles *x*, fig. 18, nommés cinquenelles, qui étaient fortement tendues en travers de la rivière, au moyen de cabestans *z*; quelquefois ces cinquenelles étaient placées en dehors du pont et les bateaux *y* étaient amarrés par des cordages. Aujourd'hui on préfère amarrer les bateaux, comme nous venons de le dire, à des ancrs, ce qui est beaucoup plus sûr, puisque la rupture d'une cinquenelle entraînerait la rupture du pont.

Lorsqu'on établit un pont de bateaux, les bois des travées sont placés à mesure que les bateaux sont arrivés à leur emplacement; ces bois servent même à fixer avec précision l'écartement des bateaux; dès que les longerons *b* d'une travée sont établis, on pose les madriers du plancher *k*, ces madriers sont retenus par des poutrelles *u* qui les croisent, que l'on appelle *quindages* et qui sont fixées aux longerons de rives par des cordes qui passent dans des échancrures faites sur les bords des madriers. La largeur d'un pont de bateaux est d'environ 4 à 5 mètres; elle ne doit jamais être plus grande que d'un tiers de la longueur des ba-

teaux; la largeur du pont doit occuper exactement le milieu de la longueur de chaque bateau.

A défaut de bateaux on a construit des ponts flottants avec des caisses creuses hermétiquement fermées, avec des tonneaux, et même avec des outres.

Les Anglais ont essayé de construire des tonneaux en tôle de cuivre aussi longs que des bateaux pour soutenir des ponts flottants, et de cette sorte insubmersibles; c'est une imitation des tonneaux de 6 à 7 mètres de longueur de 0^m,60 de diamètre au bouge, et de 0^m,30 à 0^m,40 aux extrémités, qui servent à faire flotter les trains de bois sur la Midouze, petite rivière du département des Landes, dans la partie de son cours où elle a peu de profondeur d'eau. Néanmoins, de tous les moyens qu'on peut employer pour construire un pont flottant à défaut de bateaux, le plus simple consiste dans l'emploi des radeaux qui font l'objet de l'article suivant.

§ 2. Pont sur radeaux.

Les ponts de radeaux ne diffèrent des ponts sur bateaux qu'en ce que des radeaux sont substitués aux bateaux.

La fig. 15 de la planche CXXXIX représente le plan général de la partie d'un pont de radeaux qui touche la rive droite d'une rivière.

En A, fig. 9, est le plan d'un radeau sur une plus grande échelle.

La fig. 16 est la coupe d'un pont de radeaux par un plan perpendiculaire à son axe, et l'élévation d'un radeau suivant sa longueur; on voit par ces deux figures qu'un radeau est composé d'un nombre impair de corps d'arbres équarris *a* réunis par des traverses *y* et des écharpes *h*, liées aux arbres par des harts ou des cordages comme à l'aval du radeau A, ou fixées par de fortes chevilles en bois ou des broches en fer comme à l'amont de ce radeau, ce qui ne dispense pas de quelques liens de sûreté en cordages. On préfère les bois équarris parce qu'ils s'ajustent mieux les uns près des autres, et que les radeaux de même volume, sous le rapport du cube de bois qui s'y trouve employé, ont beaucoup moins de largeur. Cependant lorsqu'on n'a que des bois ronds, et qu'on n'a pas le temps de les équarrir, ou qu'ils se trouveraient trop réduits de volume par l'équarrissage, on se contente de dresser seulement une face pour qu'on puisse y appliquer les autres bois de l'assemblage du radeau. Les bois d'un radeau ne doivent pas être jointifs, il faut les écarter de 15 à 20 centimètres (la moitié de leur grosseur) afin que l'eau puisse couler et qu'on puisse passer des cordages entre eux.

On n'emploie pour faire des radeaux que des bois légers, surtout le pin et le sapin; le chêne est trop pesant. Les pièces de bois qu'on emploie dans un radeau doivent être du même équarrissage entre elles, et d'un bout à l'autre elles doivent être de même longueur. Elles sont sciées par leurs bouts et arrangées de façon à présenter un angle saillant du côté de l'amont de la rivière, et un angle rentrant égal au premier du côté d'aval; l'angle saillant a pour objet de décomposer l'action du courant, l'angle rentrant est fait pour rétablir l'égalité, de façon que le centre de gravité soit exactement dans le milieu de la longueur du radeau, en sorte qu'il ne puisse pas s'enfoncer dans l'eau à un bout plus qu'à l'autre. Les cordages d'amarrages *c*, les cordes traversières *d* et les cordages *k* des ancrs sont disposés de la même manière que pour un pont de bateaux et attachées aux poutées *o*, *r*, *x*, dressées sur les radeaux. Une portière est établie de la même manière que celle du pont de bateaux.

Vu le peu d'épaisseur des radeaux, on élève le plancher du pont le plus possible, afin qu'il ne soit point atteint par l'eau; à cet effet, on pose les longerons *b* sur trois poutrelles *e* couchés sur les traverses *f* du radeau. Les longerons se croisent sur les poutrelles du milieu.

Lorsque les arbres n'ont pas assez de longueur par rapport à celle du radeau, il faut les enter : ces arbres doivent avoir environ $3\frac{1}{4}$ centimètres de diamètre.

Les madriers du plancher *k* sont posés et retenus par des guindages, exactement comme pour le pont de bateaux.

Les ponts de radeaux ont, sur les ponts de bateaux, l'avantage de pouvoir supporter de plus fortes charges et de n'être point submersibles.

Il faut construire les radeaux sur l'eau, parce que les bois sont plus faciles à mettre en place, et que, d'ailleurs, en flottant, ils prennent la position d'équilibre qui leur convient; l'écartement des radeaux est limité par la longueur des longerons, pour que ceux-ci aient une force suffisante pour soutenir les fardeaux qui doivent passer sur le pont.

Les parties d'un pont de radeaux ou d'un pont de bateaux, qui touchent aux rivages, sont les culées; les longerons des culées portent sur des poutrelles posées sur le sol à la hauteur convenable et retenues par de forts piquets.

Les ponts de bateaux et de radeaux sont tendus en ligne droite : le bombement qu'on leur donne quelquefois vers l'amont n'a point pour objet d'augmenter leur solidité, mais seulement de faire part de l'allongement des lignes d'ancres, qui est plus grand au milieu du fleuve que sur ses bords, à cause de la plus grande longueur de ces lignes, là où la rivière est plus

profonde; les corps flottants qui supportent les ponts doivent avoir leurs longueurs dans la direction du cours de l'eau.

On commence un pont par la travée d'une culée; de nouvelles travées sont formées en plaçant de nouveaux bateaux ou radeaux; on ne doit établir un bateau ou un radeau que lorsque le précédent est fixé par ses amarres, ses traversières, ses ancres et ses longerons.

On peut commencer un pont par les deux culées en même temps.

CHAPITRE XL.

PONTES DE CORDAGES.

Les pontes suspendus en fer sont des imitations des pontes en cordages et si ceux-ci n'ont point l'avantage d'une longue durée comme les pontes en fer, ils ont celui d'être d'une exécution rapide et qui n'exige presque aucun travail préparatoire.

Les pontes de cordages sont essentiellement du ressort du charpentier, c'est ce qui nous a déterminé à donner quelques détails à leur sujet.

Les personnes qui croient que l'homme n'invente que par imitation, prétendent que c'est au Pérou que les Européens ont trouvé les premiers exemples des pontes en cordages. Si l'on veut ainsi remonter aux origines des travaux des hommes, on pourrait demander où les sauvages ont pris les modèles de leurs pontes de cordages, et l'on serait tenté de croire qu'ils leur ont été fournis par l'instinct admirable que la nature a départi à certains animaux. L'araignée, mal à propos nommée araignée volante, livre au vent un long fil qu'elle produit; ce fil va s'attacher aux branches d'un arbre éloigné, et l'araignée se livre à ce frêle pont de corde pour traverser les abîmes les plus larges et les plus profonds, en comparaison du volume si minime de cet ingénieux insecte.

§ 1. *Tarabites.*

Bouguer, dans son *Voyage*, rapporte qu'il a vu franchir des rivières au moyen d'un cordage de cuir tendu d'une rive à l'autre, et auquel le voyageur était suspendu par de grossières poulies dans une tarabite.

Nous avons représenté, fig. 17, pl. CXL, une de ces tarabites.

On dit que c'est par un moyen semblable que les intrépides habitants de l'île de Gozzo, près Malte, traversent le détroit qui les sépare de la *Pierre du général*, pour aller récolter des champignons qu'ils y trouvent en abondance.

§ 2. *Pont de hamac.*

Bouguer, dans l'ouvrage que nous venons de citer, et M. de Humboldt, dans celui qu'il a publié sur les Cordillères, décrivent des ponts de cordages construits avec autant de simplicité que de solidité : nous copions dans l'ouvrage de M. de Humboldt le dessin que nous donnons, fig. 18, d'un de ces ponts établi sur la rivière de Chambo, près de Pénipé, au Pérou. Ce pont a environ 120 pieds de long (39 à 40 mètres), sur 7 à 8 pieds de largeur (2 mètres à 2^m,50).

Les cordes sont composées de racines filamenteuses et de lianes ; elles n'ont pas moins de 16 à 20 centimètres de diamètre ; elles sont tendues, autant que leur poids peut le permettre, au moyen de gros cabestans établis sur les escarpements qui servent de culées.

Comme il serait dangereux de les tendre trop, on leur laisse une courbure qui leur a fait donner le nom de pont de hamac, par les Espagnols. Ces cordages grossiers sont fortement amarrés aux culées, et soutenus, sur divers points de leur longueur, par des chevalets en charpente, ou par des arbres dont on ne manque pas de profiter pour donner des points d'appui à ces sortes de constructions ; le plancher est formé de branches qu'on lie très-fortement. L'oscillation de ces ponts, pendant le passage des voyageurs, rend la marche assez difficile.

§ 3. *Pont de corde sur culées en charpente.*

La fig. 1, pl. CXL, représente un pont de cordages établi pour une grande portée, d'après le récit des voyageurs, et dont des modèles se voient dans les galeries de quelques établissements publics. Il est élevé au-dessus du sol par des charpentes de culées *A B*, qui soutiennent le cordage de suspension *a*, dont la tension est réglée par les cabestans *b* et *d*, le premier pour un côté du pont, le deuxième pour l'autre côté.

Les longueurs des cordages verticaux *c* qui soutiennent les poutrelles *f* du pont, sont fixées au moyen des poulies *c*, de telle sorte que le tablier du pont forme une courbe continue d'une flèche déterminée. Les longerons *g*, qui portent sur les poutrelles, sont fixés par des liens en corde et de fortes chevilles. Des madriers sont chevillés sur les longerons. Un cordage passe près de chaque bord du pont au-dessus des madriers, et y est maintenu par quelques liens en cordes. Chacune de ces cordes de

guindage est tendue par un des cabestans h ou k , de façon à tenir les cordages verticaux tendus pour donner au pont la stabilité désirable.

Un garde-corps est établi des deux côtés du pont; le cordage de lisse est soutenu par des liens aux deux cordes de suspension verticales, et par des cordes verticales intermédiaires; des croix de Saint-André en cordages remplissent les panneaux de ce garde-corps.

Par la disposition qui vient d'être décrite, chaque cabestan n'est chargé de la tension que d'un seul cordage.

La fig. 4 est une coupe de ce pont par un plan vertical perpendiculaire à son axe, suivant la ligne xy de la fig. 1.

§ 4. *Petit pont de cordages.*

La fig. 5, pl. CXL, est le dessin d'un pont de cordages dont on voit aussi quelques modèles dans des galeries d'établissements publics; on le suppose établi sur une moindre portée que le précédent et sans le secours de cabestans. Les poutrelles et les longerons peuvent être en bois ronds. Les cordages de suspension sont élevés sur des poteaux verticaux dont la forme et les assemblages sont détaillés fig. 6. La stabilité de ces sortes de chevalets est maintenue par des jambettes; on les suppose établis sur des patins en forme d'enrayures; on peut se contenter de planter les montants dans le sol, et de les soutenir par des jambettes également appuyées dans le sol. Les cordages de suspension et ceux de guindage qui passent au-dessus des madriers sont tendus par des palans.

§ 5. *Pont de cordes sur chevalets.*

Lorsqu'un espace est assez restreint pour qu'il suffise de deux travées pour le franchir, on peut établir très-commodément et fort rapidement un pont au moyen d'un chevalet soutenu par des cordages.

La fig. 2, pl. CXL, est une coupe suivant la longueur d'un pont construit par ce moyen.

La fig. 8 est un plan sur lequel sont projetés différents détails de la construction de ce pont.

La fig. 3 est une coupe par un plan vertical perpendiculaire à la direction du pont, et passant par la ligne $m n$ de la fig. 2.

On voit que les longerons a de ce pont sont appuyés, d'un bout, sur les culées b et, de l'autre, sur la traverse supérieure c d'un chevalet dont

les traverses inférieures *d* sont soutenues par quatre cordages *e* amarrés à des pieux *f*, plantés sur les culées et appuyés contre des gîtes *r*; des croisières *g* amarrées à d'autres pieux *k* empêchent le balancement du pont. Cette construction peut être simplifiée; au lieu d'un chevalet on peut employer un châssis vertical pareil à l'une des moitiés du chevalet, et fixé aux cordages tirants par des liens de cordes, et aux longerons par de fortes chevilles; ces longerons étant eux-mêmes chevillés sur les chantiers des culées.

§ 6. Pont avec châssis en bois.

La fig. 7, pl. CXL, est l'élévation de la partie d'un pont de cordages contiguë à sa culée, soutenu par des cordages tendus horizontalement *a*, chevalet pour exhausser les trois cordages de suspension *b*, tendus au moyen des palans *d* fixés des deux côtés du pont à des pieux *c*.

La figure 11 est une élévation du chevalet *u* projeté sur un plan vertical perpendiculaire à l'axe du pont.

La figure 12 est une coupe du pont suivant un plan vertical perpendiculaire à son axe.

e, montants de suspension.

f, poutrelle retenue aux montants par les clefs *g* qui traversent les tenons après qu'ils ont traversé les poutrelles. Les cordages de suspension *b* passent dans les trous percés dans les montants *e*. Les longerons *h* portent sur les poutrelles, les madriers du plancher sont cloués sur les longerons ou retenus par une corde de guindage; un bastingage sert de garde-corps.

Ce pont ne sert que pour les piétons.

§ 7. Pont de cordages militaire.

La figure 9 est une élévation d'un pont de cordages comme on en a quelquefois établi pour le service militaire.

a, châssis de culée.

b, cordages de suspension tendus par des palans *c* amarrés à des poutrelles *g* retenues par des pieux *p* auxquels elles sont attachées.

d, cordages verticaux.

h, poutres longitudinales composées de plusieurs poutrelles entées.

f, pontage formé de poutrelles sur lesquelles sont posés les madriers.

La fig. 15, qui répond au-dessous de la fig. 9, est une partie du plan de ce pont.

La fig. 10 est une coupe verticale du pont prise suivant le plan qui a pour trace la ligne xy des fig. 9 et 15.

La fig. 13 est le détail d'un châssis de culée composé de pieux plantés dans le sol et liés par des cordes.

Les pièces k , fig. 9 et 15, ont pour objet d'empêcher le châssis des culées de se renverser lorsqu'on agit sur les palans.

§ 7. Pont de cordes suspendu à des mâts.

Lorsqu'une rivière a trop de largeur pour qu'on puisse risquer de faire un pont de cordes d'une seule portée, on divise la largeur de la rivière en plusieurs travées que l'on soutient par des mâts verticaux qui portent sur le fond.

La fig. 14 de la planche CXL représente le cas le plus simple dans lequel la longueur du pont est partagée en deux parties seulement par une mâture d , à laquelle sont attachés les cordages de suspension b qui soutiennent, par le moyen des palans c , les poutrelles rondes e qui supportent les longerons a sur lesquels les madriers sont cloués.

La fig. 16 est une élévation de la mâture sur un plan perpendiculaire à la longueur du pont. Les pieds des bigues ou mâts posent sur le fond de la rivière; si ce fond n'a point de solidité on établit une enrayure sous chaque mât; on les consolide au moyen de quartiers de pierre que l'on coule à leur pied. Une rone de voiture sous chaque mât peut servir d'enrayure. Les poutrelles rondes qui sont près des mâts leur sont fixées par des liens en cordages.

Si la largeur de la rivière était plus considérable, on établirait deux châssis de mâtures; l'espace entre ces deux châssis ne devrait pas nécessairement être le double de la distance d'un châssis aux culées. Il ne devrait être que d'une fois et demie, et au plus une fois trois-quarts; et, dans ce cas, le sommet renversé du polygone funiculaire de suspension ne doit pas atteindre le niveau du plancher du pont.

On emploie dans l'exécution des ponts de cordages des nœuds, qui sont les moyens d'assemblage des cordages; nous renvoyons à ce sujet au chapitre XLVII.

À l'égard de la construction ou du levage des ponts en cordages, on conçoit que toute la difficulté de ce levage est vaincue, dès qu'on est parvenu à passer d'un rivage à l'autre un cordage, quelque faible qu'il soit, puisque par son moyen on peut lui en substituer de plus forts, et qu'on peut même faire avec des cordages des ponts provisoires destinés à porter seulement quelques hommes, et à servir comme d'échafaudages pour le

levage. Quant à ce qui concerne l'établissement des mâtures, on les dresse au moyen de haubans et de palans, tous garnis à leurs sommets des attaches et même des cordages de suspension.

Pour faciliter l'opération de dresser les mâts on les garnit de tonnes aux points qui doivent se trouver au niveau de l'eau en même temps qu'on attache quelque grosse pierre aux extrémités qui doivent reposer sur le fond; les palans de suspension verticale sont attachés d'avance aux grands cordages de suspension, et les deux mâts du châssis sont dressés simultanément; on ferait usage de cabestans provisoires si les palans simples ne suffisaient pas.

La rapidité avec laquelle les ponts de cordages sont établis les rend d'une grande utilité.

CHAPITRE XLI.

CINTRES.

Les cintres sont des ouvrages en charpente qui servent à soutenir la maçonnerie des voûtes pendant leur construction, et jusqu'à ce que la pose de leurs clefs leur ait donné la faculté de se soutenir seules. Sous ce point de vue les cintres sont de véritables échafauds; ils deviennent des étais, lorsqu'on les établit sous de vieilles voûtes qu'ils s'agit de réparer ou de démolir avec précaution, soit pour prévenir les accidents qui pourraient arriver aux ouvriers, soit pour ménager les matériaux qui se dégraderaient dans leur chute.

Quoiqu'on ne puisse confier qu'à des charpentiers la construction des cintres, leur pose et le décintrement, on ne peut pas dire que la composition des cintres soit exclusivement de leur ressort.

Il n'en est pas d'un cintre comme d'un comble, d'un pont, d'un échafaudage; le charpentier connaît les conditions que ces constructions ont à remplir, les charges qu'elles ont à supporter, les dégradations qui peuvent les atteindre; mais les conditions auxquelles un cintre doit satisfaire, dépendent de l'art de la construction des voûtes; elles sont essentiellement du domaine de la science de l'architecte et de l'ingénieur. Celui qui veut bâtir une voûte en maçonnerie, qui en a déterminé l'étendue, et conçu la forme et l'appareil, doit connaître les procédés d'exécution qu'il peut employer; il est seul appréciateur des conditions auxquelles les cintres dont il a besoin doivent satisfaire : son savoir et son expérience lui fournissent les moyens de conduire à perfection son ouvrage. Nous n'entrerons donc point dans de longs détails sur les cintres, le plan de notre livre ne devant point embrasser l'art de bâtir des voûtes. Nous nous bornerons à faire connaître à nos lecteurs, charpentiers, les diverses espèces de cintres qui ont été employés, pour qu'ils ne travaillent point aveuglément dans la construction de ces sortes d'ouvrages dont l'exécution leur est toujours confiée aussi bien que celle du décintrement.

Les cintres sont de différentes espèces, suivant que les voûtes doivent être cylindriques ou à double courbure; suivant qu'elles doivent avoir plus ou moins d'étendue; suivant qu'elles doivent être en pierres de taille ou en maçonnerie de moellons, ou même monolithes, c'est-à-dire en béton, comme celle d'un pont de 12 mètres que M. Lebrun, ingénieur des ponts et chaussées, a fait construire sur le canal latéral de la Garonne.

I.

CINTRES DES ANCIENS.

Cintres du pont de Celsius et du pont du Gard.

L'époque de l'invention des cintres ne peut être que celle de l'invention des voûtes, que l'on fait remonter, comme nous l'avons déjà dit, au temps de la construction des cloaques de Rome.

On ne connaît pas quelle était la composition des cintres employés par les anciens; mais on peut présumer, d'après la forme constante de leurs constructions des voûtes en pleins cintres, les voussoirs saillants en encorbellement qu'ils ont laissés dans leurs voûtes, et les travaux qu'ils avaient faits en charpente pour d'autres objets, que les cintres qu'ils ont employés étaient de la forme de ceux représentés fig. 2 et 3, pl. CXLII, le premier adapté à une marche du pont de Celsius, à Rome, le second pour une arche du pont du Gard, à Nîmes.

Nous avons emprunté ces deux figures à l'*Art de bâtir*, par Rondelet.

Le cintre du pont de Celsius, fig. 2, est du genre de ceux appelés *cintres retroussés*, parce que les points d'appui du cintre ne sont pas au niveau des naissances de la voûte, et qu'ils sont relevés ou retroussés jusqu'à la hauteur où les voussoirs ne peuvent être posés sans le secours des cintres, parce qu'au delà de cette hauteur les joints ont une inclinaison telle que les voussoirs ne peuvent plus être retenus en pose par le frottement. La position de ces points répond aux joints qui font un angle d'environ 30 degrés avec l'horizon. Les anciens avaient eu connaissance de cette propriété du frottement, car on ne peut douter que c'est cette considération qui a déterminé les places où ils ont laissé des voussoirs en saillie, afin d'appuyer les parties de cintres qu'ils ont jugées indispensables pour l'achèvement des voûtes.

Il est donc présumable que les cintres des anciens différaient peu de ceux dont on fait usage aujourd'hui, pour des voûtes de médiocre étendue.

Les voûtes en berceau, les plus grandes que les anciens nous ont laissées, ne dépassent pas 20 à 25 mètres d'ouverture. Elles sont par conséquent loin d'avoir les immenses portées des arches en pierre de nos ponts modernes.

II.

CINTRES MODERNES.

La disposition générale des éléments qui composent les cintres pour supporter les voussoirs des voûtes en construction, a une analogie parfaite avec celle des travées des ponts en charpente, qui a fait l'objet du chapitre précédent. Les cintres sont en effet des ponts établis entre les différents pieds-droits qui doivent soutenir des voûtes en pierre, et ils sont en même temps comme des moules pour la fabrication de la maçonnerie de ces voûtes.

Sous le rapport des formes des voûtes, pour la construction desquelles les cintres sont faits, nous en considérerons de deux sortes : les cintres pour voûtes en berceau ; les cintres pour coupoles et voûtes de révolution.

Nous avons déjà remarqué, avec Rondelet, page 351, et nous verrons encore que l'on peut quelquefois se passer de cintres pour construire les voûtes sphériques, et en général celles dont la douelle est une surface de révolution sur un axe vertical ; mais le secours des cintres est indispensable pour les voûtes cylindriques ou en berceau (1). Dans tous les cas, le système de construction des cintres est une imitation complète de la construction des combles et des voûtes.

Pour les voûtes cylindriques dont les axes sont horizontaux, désignées sous le nom de voûtes en berceau, le cintrement est composé d'une suite de fermes toutes parallèles, perpendiculaires à l'axe de la voûte, et liées entre elles par des liernes horizontales. Ces fermes suivent la forme du berceau en maçonnerie qu'elles doivent soutenir.

Les fig. 6 et 8, de la planche CXXI, représentent des fermes de cintres pour des voûtes en plein cintre. Les pièces de bois y sont combinées comme

(1) M. Brunel, ingénieur du pont de la Tamise est parvenu, en maçonnant des briques avec le ciment de Parker, à construire sans cintres deux demi-arches de pont, prenant naissance sur une même pile de 1^m,30 de largeur, et se faisant équilibre comme les deux branches d'une double grue sur pivot. M. Brunel estime que son procédé est applicable à des arches de 90 mètres d'ouverture, qui seraient ainsi comme d'une seule pièce : ce moyen de construction aurait de grands avantages sous le rapport de l'économie, et sous celui de la navigation, qui ne serait pas interrompue pendant la construction des arches ; mais nous pensons qu'il est encore loin de pouvoir être substitué à la construction des arches en pierres de taille, pour laquelle les cintres en charpente continueront longtemps encore d'être un indispensable auxiliaire.

dans les fermes des combles, et elles y conservent les mêmes noms. *a* est le tirant; *b* un entrain; *c* des arbalétriers; *d* des poinçons.

Pour ne point consommer sans utilité le gros bois dans les parties qui doivent suivre la courbure des voûtes, on se contente de coucher sur les arbalétriers des pièces de bois *m*, dont un côté seulement est gabarié suivant cette courbure, et auxquelles on a donné le nom de *veaux*; elles sont attachées sur les arbalétriers par des chevilles en bois ou des broches en fer.

La manière dont une voûte est soutenue sur son cintre pendant sa construction, dépend de la nature de la maçonnerie qui la compose : lorsque cette maçonnerie est en moellons ou en briques, elle est supportée sur un couvlage en planches ou en madriers, exactement de la forme de la voûte, qui est régulièrement arrondi comme elle, et lui sert réellement de moule; les planches et madriers de ce couvlage sont cloués sur la surface extérieure de chaque ferme qui est partout à une égale distance de la voûte, soit que la courbure ait été formée par des pièces du cintre, soit qu'on l'ait obtenue au moyen de *veaux*.

Quand la voûte est appareillée en pierres de taille, qui forment des voussoirs réguliers, chaque voussoir est soutenu sur le cintre au moyen de *couchis* et de *cales*. Ces couchis sont de longues pièces de bois équarries, couchées horizontalement et parallèlement aux génératrices de la surface de douelle, sur des cales doubles taillées en coins pour qu'on puisse établir ces couchis à la distance exacte qui doit les séparer de la voûte : souvent ces cales sont clouées sur les cintres afin qu'elles restent aux places où elles ont été ajustées; à chaque cours de voussoirs répond un cours de couchis, et chaque voussoir est mis en pose sur des cales doubles en coins, qui donnent le moyen de l'établir exactement à la place qu'il doit définitivement occuper, par rapport à la surface de la voûte dont sa douelle fait partie. Dans la fig. 5, de la planche CXXI, nous avons figuré les couchis *a*, vus par leurs bouts, posés sur leurs cales *m*, et les voussoirs *d*, posés sur leurs cales *n* (1).

(1) Le pont des Morts, sur la Moselle, à Metz, présente un mode de construction mixte de maçonnerie de pierres de taille et de maçonnerie de moellons, aussi économique que singulier, et qui paraît au surplus avoir été fort en usage dans le pays Messin, où plusieurs autres ponts ont été bâtis par le même procédé.

Les arches du pont des Morts ont environ 12 mètres d'ouverture : chacune de ces arches est composée de quatre arcs en pierres de taille, qui forment autant de chaînes en boutisses et panneresses dans la douelle de la voûte, et qui sont distribués à des intervalles égaux sur la largeur du pont, qui est d'environ 8 mètres entre les deux parements des têtes. Les trois intervalles des arcs en pierre de taille sont remplis en maçonnerie de moellons suivant la courbure de la voûte de l'arche; chacun de ces arcs en

Les savants se sont occupés de recherches mathématiques sur la construction des cintres. Pitot, Couplet, Perronnet, et Gauthey ont écrit sur cette partie de l'art de construire : nous ne rapporterons point ici leurs recherches, ce chapitre étant destiné à exposer uniquement ce qui a trait à l'art du charpentier.

III.

CINTRES MOBILES OU FLEXIBLES.

§ 1. *Cintres du pont de Neuilly.*

On se sert de cintres pour la construction de toutes les voûtes, et les premiers ont été employés pour des voûtes de petites portées; mais la construction des ponts en pierre à grandes arches que nous devons au dernier siècle, a exigé celle des grands cintres. Divers systèmes de combinaisons des bois ont été suivis pour leur composition, ce qui a donné lieu de les distinguer en cintres *mobiles* ou plutôt *flexibles*, et en cintres fixes, et, pour les uns et les autres, en cintres entiers et cintres retroussés, en cintres ne portant que sur leurs naissances et cintres avec soutiens intermédiaires.

Les cintres composés par Perronnet pour la construction du pont de Neuilly près Paris, sont des cintres flexibles, et par cette qualification, on entend des cintres qui peuvent fléchir et changer de forme pendant la construction de la voûte, par l'effet de la variation du poids qu'ils ont à supporter pendant que le nombre des voussoirs en pose augmente.

Le pont de Neuilly a été construit, sans aucun doute, sur un cintre en charpente et probablement le même a servi pour les quatre arcs l'un après l'autre. Le remplissage en maçonnerie a été fait sur un couvage en bouts de madriers de sapin d'environ 2^m,30 de longueur, appuyés d'un arc à l'autre dans des rainures creusées dans la pierre de taille; ce couvage n'avait point été enlevé après le remplissage en maçonnerie, car il en existait encore, vers 1810, quelques fragments que le temps avait respectés. Les parties de couvage qui ont été détruites ont laissé à découvert la maçonnerie de moellons sur laquelle les arcs en pierres de taille font une saillie d'environ un décimètre, qui comprend la rainure dont nous venons de parler.

Ce système de cintres est composé de plusieurs cours d'arbalétriers formant des polygones concentriques, les angles des uns répondant aux côtés des autres.

La première application de ce système avait été faite par Hardouin Mansard, au premier pont de Moulins (1); le succès n'avait pas répondu à l'apparence d'une grande résistance qu'on avait cru lui reconnaître. Nous avons choisi les cintres du pont de Neuilly comme l'exemple le plus complet de ce système; nous l'avons représenté, fig. 4, pl. CXLI, en projection verticale, et fig. 46 en projection horizontale, d'après le dessin qui se trouve dans les œuvres de Perronet.

La fig. 41 représente les formes intérieures de la cinquième moise, et la fig. 40 est une projection de la même moise sur sa face d'assemblage, dont la trace est la ligne xy de la figure 4.

La figure 4 de la planche CXLI est une application de ce système à des arches en plein cintre.

La flexibilité de ce genre de cintres provient du nombre de ces articulations, c'est-à-dire du nombre de ses joints sur lesquels les pièces peuvent changer d'inclinaison les unes à l'égard des autres, comme si elles étaient réunies par des charnières. Il résulte de cette flexibilité, que lorsqu'on élève une maçonnerie au-dessus des naissances des voûtes, dès qu'elle commence à porter sur les cintres et à les charger vers les points que l'on nomme les reins, son poids force ces parties à s'abaisser, ce qui fait remonter le sommet, et par conséquent change en même temps la forme du cintre.

Pour remédier à un si grave inconvénient, d'où résulterait un changement complet de la forme de la voûte, et peut-être de plus graves accidents, on est forcé de charger le sommet du cintre d'un poids considérable convenablement réparti, pour faire équilibre à la pression opérée sur les reins, et maintenir, autant que possible, la régularité de la courbure du cintre. A la vérité on emploie pour ce chargement les vousoirs qui doivent être posés, mais il en résulte une main-d'œuvre coûteuse et un tâtonnement continué qui n'est pas sans danger.

Au pont de Neuilly le tassement des reins et le soulèvement des cintres étaient si considérables qu'on fut obligé, pour les ramener dans leur forme primitive et la conserver durant la construction des arches, de charger successivement leurs sommets de 122, 426 et 455 mille kilogrammes. Lorsqu'on fut sur le point de fermer les voûtes, par la pose de

(1) Ce pont fut détruit par une crue d'eau de l'Allier, le 8 novembre 1710, malgré le soin qu'on avait mis à sa construction.

leurs clefs, le tassement général des cintres était de 7 à 8 centimètres, en vingt-quatre heures.

Ce tassement paraissait provenir surtout de ce que les extrémités des pièces, portant à bois debout, avaient pénétré de 4 à 5 millimètres dans les faces des moises, et de ce que quelques arbalétriers avaient plié : d'autres arbalétriers, inégalement pressés sur leurs abouts, s'étaient fendus suivant leur longueur ; on avait attribué ces accidents à la forme des abouts. Dans la construction des cintres du pont de Sainte-Maxence et du pont de la Concorde à Paris, on a tracé chaque about suivant un arc de cercle ayant son centre au bout opposé, et l'on croit que c'est ce moyen qui empêche les arbalétriers de se fendre ; il est plus présumable que les arbalétriers ont été garantis de cet accident parce que leurs abouts étaient taillés avec plus de précision, et qu'ils portaient dans toute leur étendue et par des points répondant aux mêmes faces aux deux extrémités des pièces. Cette forme donnée aux abouts a l'inconvénient de faciliter les mouvements de rotation des bois en transformant leurs joints en véritables articulations.

Le moyen le plus efficace et le plus simple en même temps qu'on ait trouvé jusqu'ici pour empêcher les effets de ces puissantes pressions sur les fibres du bois, consiste dans l'emploi des boîtes de fonte substituées aux assemblages directs du bois contre du bois.

§ 2. *Cintres du pont d'Orléans.*

Les cintres retroussés du pont d'Orléans, dont nous donnons un dessin fig. 5, sont du genre des cintres flexibles, le nombre des articulations avait cependant été diminué ; mais les fermes ne se sont pas trouvées assez fortes, on a été obligé de leur ajouter des arbalétriers *m*, des moises *r* et quelques contre-fiches placées entre les fermes comme des contreventes.

Ces arbalétriers ont beaucoup diminué la flexibilité des cintres.

La fig. 12, pl. CXXI, est une coupe suivant une ligne *x y* de la fig. 5 pour montrer les croix de Saint-André assemblées dans les moises pendantes et dans les moises horizontales, afin d'empêcher le déversement des fermes. On a remarqué que ces cintres avaient bien réussi, quoiqu'ils ne fussent pas autant chargés de bois que les précédents.

IV.

CINTRES FIXES.

Les cintres regardés comme inflexibles sont ceux dans lesquels les assemblages ne peuvent jouer; ainsi l'on conçoit que dans le cintre du pont d'Orléans si les deux arbalétriers m , n , n'eussent formé qu'une seule et même pièce en ligne droite, le changement de forme qu'aurait subi le cintre n'aurait pu provenir que de la flexibilité des bois et nullement de la mobilité des assemblages; car, en supposant un arbalétrier en sens symétrique de celui m n à l'autre bout de la ferme, si les charges de la maçonnerie eussent augmenté également des deux côtés, leur action sur l'entrait p q aurait été égale aux deux bouts de cet entrait qui n'aurait par conséquent point changé de position, et la figure formée par cet entrait et les deux arbalétriers aurait été invariable. Ainsi la stabilité de la forme du cintre n'aurait plus dépendu que de l'inflexibilité des arbalétriers et de la résistance de l'entrait que l'on aurait pu accroître autant qu'il aurait été nécessaire, par l'augmentation de l'équarrissage de ces pièces et par l'emploi des armatures pour suppléer à la force de leur équarrissage.

§ 1. *Cintres de la nef de Saint-Pierre de Rome.*

Rondelet remarque dans son *Art de bâtir* que si c'est dans Rome antique qu'on trouve les premières et les plus importantes voûtes, c'est aussi Rome moderne qui nous offre le cintre le plus considérable qu'on ait construit jusqu'alors dans celui que Michel-Ange a employé à la construction de la voûte de Saint-Pierre de Rome, et dont la composition est attribuée à Antonio da San-Gallo (mort en 1546), architecte de cette église après Bramante et avant Michel-Ange.

La fig. 13 de la planche CXXI (1) représente cette belle composition d'après le dessin que nous a conservé Fontana.

Elle satisfait admirablement bien à toutes les conditions de résistance et de stabilité; cette ferme est le type des fermes des cintres fixes, sauf les

(1) Nous avons fait le dessin de ce cintre, fig. 13, sur une petite échelle, pour qu'on puisse le comparer au cintre de la coupole, fig. 11, pl. CXXV.

changements à apporter pour plier ce système aux différents cas que peuvent présenter les diverses circonstances qui font varier les formes et dimensions des voûtes.

§ 2. *Cintres de M. Pitot.*

Le système des cintres de Saint-Pierre de Rome, se retrouve dans les cintres de M. Pitot, fig. 7 et 18 de la même planche CXXI, dans lesquels il est aisé de reconnaître l'analogie de ces deux constructions, au moins dans la disposition générale qui procure l'invariabilité de forme qui est observée dans l'ensemble de la combinaison, comme dans ses détails.

M. Pitot a fait usage du système représenté fig. 18 pour les arches qu'il a accolées au pont du Gard; il a employé aussi ce même système au pont d'Orneson et au pont de Dulac, sur la route de Perpignan à Carcassonne.

Celui de la fig. 7 lui a servi pour le pont de l'Île-Adam.

§ 3. *Cintres du pont de Nemours.*

Le système de deux arbalétriers et d'un entrait a été employé avec succès aux cintres du pont de Nemours sur le Loing. Une des fermes de ces cintres est représentée fig. 11, pl. CXXII; mais comme l'arche est formée par une portion d'arc de cercle, il en est résulté que la charge avait tellement agi sur les couchis, qu'il aurait été fort difficile d'opérer le décintrement; nous indiquerons au paragraphe 8, ci-après, le moyen qu'on a été forcé d'employer pour opérer ce décintrement.

§ 4. *Cintre du pont du Strand.*

Le cintre du pont du Strand, à Londres, est remarquable, comme cintre fixe, par la bonne combinaison des contre-fiches qui entrent dans sa composition; nous l'avons représenté fig. 12, pl. CLXII. Nous renvoyons ce que nous avons à dire à son sujet au paragraphe 9, ci-après.

V.

CINTRES SOUTENUS PAR DES PALÉES INTERMÉDIAIRES.

Lorsque l'étendue d'une arche et la grande longueur de son rayon de courbure font craindre que le poids de la maçonnerie ne fasse trop baisser le

sommet des cintres, bien qu'il serait d'abord élevé par les efforts que produirait la charge sur les reins, on soutient le milieu de l'étendue des fermes par une espèce de palée que l'on établit sur des pieux. Nous donnons quelques exemples de ce moyen d'assurer l'invariabilité des cintres, en cherchant un appui sur le fond de la rivière.

§ 1. *Cintres du pont de Moulins.*

La fig. 10 de la pl. CXLII représente un des cintres qui ont servi, en 1762, à la construction du pont de Moulins sur l'Allier, par Regemorte. Ces cintres sont soutenus par des poteaux verticaux appuyés sur des massifs en maçonnerie élevés sur le radier qui forme, sous le pont, le fond de la rivière.

§ 2. *Cintres du pont de la Doria.*

La fig. 8, pl. CXLII est un des cintres sur lesquels on a construit le pont de la Doria, près de Turin.

Ces cintres sont des copies de ceux du pont de Neuilly, mais vu le grand aplatissement de l'arche dont la courbure est uniforme, on a craint qu'ils ne pussent pas supporter tout le poids des vousoirs avant la fermeture des voûtes, et l'on a soutenu leurs sommités par une palée composée de trois files de pilots doubles formant des moises verticales sous chaque ferme, et reliées dans la longueur et dans la largeur du pont par des moises horizontales.

La fig. 9 représente ce système de cintre, d'ailleurs du même genre que ceux de Neuilly et d'Orléans.

§ 3. *Cintres du pont de Chester.*

Le système de cintres employés à la construction du pont de Chester est représenté fig. 1, pl. CXLII. Ce système est remarquable en ce qu'il est composé dans chaque ferme d'une seule courbe qui suit la courbure de la voûte de l'arche. Cette courbe est soutenue par des étais appuyés sur des piles en maçonnerie construites dans le lit de la rivière pour exhausser les points d'appui et leur donner, au moyen de leur étendue, une complète stabilité.

§ 4. *Cintres du pont de Gloucester.*

La fig. 5, pl. CXLII, est la représentation d'un des cintres sur lesquels on a construit les arches du pont de Gloucester; ils sont remarquables par

leur simplicité. On leur a donné des points d'appui sur des pilots plantés dans le lit de la rivière, et liés aux cintres par des entrails reposant sur les chapeaux des mêmes pilots.

§ 5. *Cintres du pont de Briançon.*

La construction du pont de Briançon présente un exemple des moyens qu'on peut employer pour donner aux cintres, dans le cas d'une grande portée, des soutiens qu'ils ne pourraient trouver au milieu de la rivière. Ce pont, qui a environ 40 mètres d'ouverture, est établi sur le ravin de la Dras, dont la grande profondeur n'a pas permis d'établir des palées dans son lit : il a fallu chercher sur les escarpements des rochers de ses bords, des appuis pour les grands entrails du système.

Nous avons représenté, fig. 6 de la planche CXLII, le dessin d'une des fermes du cintre de ce pont, dont l'arche en plein cintre a autant d'ouvertures que celles du pont de Neuilly.

§ 6. *Cintres du pont d'Édimbourg.*

La fig. 7, pl. CXLII, est un deuxième exemple du moyen de procurer des points d'appui intermédiaires pour les cintres d'une grande portée. Cette figure est tirée de la description du Deanbrig d'Édimbourg, construit en 1831.

VI.

CINTRES POUR LES PETITES VOÛTES.

Dans la construction des édifices, on trouve maintes voûtes de moyenne ouverture qui ne sauraient être exécutées sans le secours des cintres. Nous indiquons dans ce paragraphe quelques combinaisons qui peuvent être appliquées à ces cintres, qui doivent être faits avec d'autant plus d'économie qu'ils ne servent que pendant le temps très-court nécessaire à la confection de ces voûtes.

§ 1. *Cintres pour petites voûtes en pierres de taille.*

Les fig. 6 et 8, pl. CXXI, représentent des cintres pour des petites voûtes appareillées en pierres. Dans ces sortes de voûtes, on remplace quelquefois les veaux *m* par de petites maçonneries en plâtre que l'on arrondit

suivant la courbure que doit avoir la voûte; c'est un moyen d'économiser le bois.

Lorsque les voûtes en pierres de taille ont peu d'étendue, les voussoirs sont posés au moyen de cales interposées entre eux et le cintre; on ne se sert de couchis que pour les voûtes dont la portée a quelque étendue, et quand les fermes des cintres peuvent être assez écartées pour que les voussoirs ne puissent pas trouver leur appui immédiat sur les fermes.

A l'égard des voûtes en maçonnerie, elles sont maçonnées comme nous l'avons déjà dit, sur un cuvelage en planches clouées sur les veaux.

La fig. 2 est un petit cintre retroussé qui a été employé par Perronnet dans les travaux du canal de Bourgogne.

§ 2. *Cintre pour voûte rampante.*

La fig. 9, pl. CXLI, est le dessin d'une ferme de cintre rampant, pour les arcs qu'on place quelquefois sous les rampes des escaliers. Lorsque l'arc a peu d'épaisseur, une seule ferme suffit; autrement on en accole deux pour former l'épaisseur nécessaire pour l'assise des voussoirs ou le moule de la maçonnerie.

§ 3. *Cintres en planches de champ.*

Les voûtes d'une très-petite ouverture n'exigent que des cintres d'une construction légère, et l'on se contente de les faire en planches de champ, dans le genre des hémicycles de Philibert Delorme; un des cintres de cette espèce est représenté fig. 14, pl. CXLI. On les établit à peu près de mètre en mètre sur la longueur de la voûte; ils sont revêtus d'un cuvelage en planches sur lequel on moule la maçonnerie de la voûte en moellons ou en briques.

La fig. 15 est enfin l'indication du plus minime cintre en demi-cercle que l'on emploie; quelquefois même on le simplifie encore en supprimant le poinçon, et, dans ce cas, on se contente de croiser les deux planches des arbalétriers à leur rencontre au sommet du demi-cercle. Ces petits cintres sont ordinairement employés pour les berceaux couvrant de longues galeries souterraines; et l'on en compose, par le moyen du cuvelage, des demi-cylindres portatifs de 3 ou 4 mètres de longueur, que l'on dégage des voûtes en ôtant leurs soutiens, et que l'on transporte pour la continuation des voûtes, qui se trouvent ainsi faites par portions. Les charpentiers sont chargés de la construction de ces cintres portatifs; mais ils ne sont point employés à leur pose ni à leurs changements de place, qui sont du ressort des maçons qui en font usage.

§ 4. *Cintres pour portes et fenêtres.*

La fig. 3, pl. CXLI, montre comment on supplée aux cintres pour poser les voussoirs qui composent les arcs surbaissés qui n'ont que des dimensions très-restreintes, comme celles des portes et des fenêtres de nos habitations.

§ 5. *Cintres pour arceaux.*

La fig. 4, pl. CXLI, est le détail d'un cintre établi à peu de frais, par M. A. Ferry, aux fonderies de Romilly, pour la construction d'un arc dans un mur qui traverse le coursier d'une roue hydraulique. Ce cintre est composé de deux petites fermes parallèles, écartées seulement d'une quantité égale à l'épaisseur du mur pour porter les couchis servant à la pose des voussoirs. Chaque ferme est formée avec des madriers de champ boulonnés en moises sur de petits poteaux verticaux dont l'épaisseur règle l'écartement des fermes, et qui sont assemblés dans des semelles couchées sur le radier du coursier.

§ 6. *Cintres du pont aux Fruits de Melun.*

Les voûtes du pont aux Fruits, à Melun, construites il y a plusieurs siècles, comme le prouvent leur petit diamètre, leur forme en plein cintre et leur état de vétusté, menaçaient depuis longtemps de s'écrouler, et, cependant, on voulut, en 1820, en prolonger pendant quelque temps l'existence. Le seul moyen était de les cintrer; mais il fallait que les cintres occupassent le moins d'épaisseur possible sous les voûtes, pour ne point gêner la navigation.

M. Eustache, ingénieur en chef des ponts et chaussées, eut l'idée de composer ces cintres avec des bordages courbés, en les ramollissant par la chaleur combinée avec l'humidité.

La fig. 7 de la planche CXLI est l'élévation de l'une des arches dudit pont aux Fruits avec l'un des cintres dont il s'agit.

La largeur du pont, entre les deux parements des têtes, est de 6^m,80. Cinquars ont été établis dans cette largeur sous chaque arche; chaque arc a été composé de six bordages en bois de chêne de 5 centimètres d'épaisseur et de 0^m,20 de largeur.

Pour amollir les bordages, afin de les courber, M. Eustache les a soumis à une grande chaleur dans du fumier mouillé et échauffé sur un four-

neau construit exprès. Lorsque les bois avaient acquis la souplesse que M. Eustache jugeait nécessaire, on les courbait en les forçant de s'appuyer sur des points fixes où ils étaient retenus par des coins, et lorsqu'ils étaient refroidis et qu'ils avaient acquis la courbure et la fermeté requises, on les employait dans la composition des fermes dans chacune desquelles ces madriers étaient serrés et retenus par des petites moises pendantes et par des liens en fer avec brides à vis et écrous; les moises pendantes de même rang étaient liées par des moises horizontales à l'intrados et à l'extrados; celles de l'extrados étant comprises dans le cuvelage en madriers épais.

Cette construction a quelque ressemblance avec celle de mes arcs pour les grandes charpentes (p. 194); avec cette remarquable différence que mes arcs n'ont pas moins de 20 à 21 mètres de diamètre (c'est le triple du diamètre des arcs de M. Eustache); que j'ai courbé mes arcs sans le secours de la chaleur ni de l'humidité, et enfin que le but est fort différent.

VII.

CINTRES POUR COUPOLES.

La forme annulaire des différents cours de voussoirs d'une voûte en coupole, lors même que sa surface de douelle ne serait pas une surface de révolution, simplifie les moyens de construction quant à la forme des cintres. Lorsque cette forme est continue, c'est-à-dire lorsqu'elle s'élève sans qu'elle se trouve interrompue par la rencontre ou pénétration d'aucune autre voûte, elle permet de se passer de cintres proprement dits. On ne peut se servir que d'enrayures ou d'armatures horizontales élevées à mesure de l'avancement de l'ouvrage, en les maintenant à la hauteur des assises en couronne formées par les voussoirs, seulement pendant le temps nécessaire à la construction de chaque couronne, et jusqu'à ce que le cours de ses voussoirs soit complètement posé.

§ 1. *Enrayures de la coupole de Florence.*

Le moyen que nous venons d'indiquer est dû à Brunelleschi, qui l'a inventé pour la construction du dôme à huit pans de l'église de Sainte-Marie del Fiore, à Florence.

Lorsqu'il proposa de construire ce dôme sans cintre, il trouva autant de contradicteurs qu'il y eut d'architectes, d'ingénieurs et de savants réunis,

pour délibérer sur le moyen de bâtir cette immense coupole, qui est élevée à plus de 53^m,60, non compris la lanterne qui a, en outre, avec la boule et la croix, une hauteur de 19^m,17.

Les projets, qui furent présentés pour la construction des cintres, devaient occasionner de si grandes dépenses, qu'on se détermina à revenir aux offres de Brunelleschi, et dès qu'il eut divulgué le moyen dont il voulait se servir, consistant dans des enrayures horizontales pour maintenir les voussoirs, et qu'on devait élever à mesure que les assises seraient posées, personne ne douta plus du succès; ce qui n'empêcha pas cependant que cette coupole demeurât vingt ans en construction, mais par suite de circonstances indépendantes du moyen employé (1).

Quand une coupole doit être percée par des ouvertures qui interrompent un certain nombre de cours de voussoirs, comme dans la deuxième voûte du dôme du Panthéon de Paris, la méthode des enrayures n'est plus praticable, du moins pour la hauteur qui comprend les cours de voussoirs incomplets. On est forcé de recourir à la combinaison complète d'un cintre général pour cette partie de la voûte, à moins que les cintres partiels indispensables pour la pose des arcs qui forment les ouvertures ne puissent servir, en les combinant avec des enrayures, pour soutenir les cours incomplets des voussoirs.

§ 2. *Cintres du dôme de Saint-Pierre de Rome.*

Lorsqu'une coupole doit être construite sur des cintres complets, ces cintres sont composés, comme pour les voûtes cylindriques, d'un certain nombre de fermes; mais, au lieu d'être parallèles, elles sont dirigées sur l'axe vertical de la coupole, où elles sont réunies dans un poinçon commun ou sur des enrayures qui en tiennent lieu. On ne peut mieux comparer ces sortes de cintres qu'à la construction d'un dôme en charpente, en prenant toutefois la surface extérieure de ce dôme pour celle de la paroi intérieure ou douelle de la voûte, comme si le dôme en charpente devait être le moule sur lequel on maçonnerait la voûte.

(1) On rapporte que c'est à cette occasion que Brunelleschi, sollicité d'exposer son procédé, proposa à ses contradicteurs de faire tenir sur l'un de ses bouts un œuf, dont la forme a quelque ressemblance avec celle d'un dôme. Tous les assistants ayant déclaré que cela était impossible, il fit en effet tenir l'œuf comme il l'avait annoncé, en brisant sa pointe sur la table de marbre devant laquelle il était assis. Aussitôt on s'écria que chacun en aurait pu faire autant, Brunelleschi répartit avec ironie : « Si je vous montrais le modèle du moyen que je veux employer pour la coupole, vous en diriez tout autant que de l'expérience de l'œuf. »

Une anecdote semblable a été attribuée à Christophe Colomb; mais la plaisanterie n'était pas si heureusement appliquée que dans la circonstance où Brunelleschi l'a faite.

Nous n'entrerons point dans de longs détails sur la construction de ces sortes de cintres, ce que nous avons précédemment dit au sujet des voûtes en charpente et des dômes contenant tous les renseignements nécessaires pour cet objet : nous compléterons cet article par une courte description du cintre qui a servi à la construction du dôme de Saint-Pierre de Rome.

La fig. 11, pl. CXXVII, est une réduction, sur l'échelle de la fig. 10, du dessin d'une partie de l'une des fermes de ce cintre donné par Fontana dans la description de Saint-Pierre de Rome. Ce cintre était composé de seize fermes entières, ou plutôt de trente-deux demi-fermes réunies par des enrayures, vu qu'elles n'auraient pas pu trouver place pour leurs assemblages sur un poinçon.

La fig. 9, même planche, est un fragment du plan du cintre pris à la hauteur de la première enrayure.

Les contre-fiches portaient par leurs abouts dans des entailles réservées dans la maçonnerie de la naissance. Angelo Roca, contemporain de la construction de ce cintre, pour donner une idée de la grandeur du travail, dit qu'on a employé dans la construction des deux couples cent mille pièces de bois, dont une centaine était d'une grosseur telle que deux hommes pouvaient à peine les embrasser. Le nombre est probablement exagéré; mais on ne peut douter que ce gigantesque travail dut nécessiter l'emploi d'une prodigieuse quantité de bois. Rondelet remarque que ce cintre dut avoir pour objet de pouvoir élever les matériaux et de les déposer à la portée des ouvriers, pour accélérer le travail plutôt que pour soutenir les maçonneries pendant la construction de la double coupole, vu qu'on pouvait, à la rigueur, la construire sans cintre comme celle de Florence, et avec plus de facilité, puisqu'elle est sur un plan circulaire; mais cette opinion n'est qu'une présomption. Angelo Roca ne fait point mention de cette particularité, et l'on peut présumer aussi que, pour soutenir seulement les matériaux au fur et à mesure qu'il était nécessaire de les placer à portée des ouvriers, l'architecte n'aurait pas fait une construction aussi considérable. Il ne me paraît pas douteux que ces cintres ont été composés dans l'idée qu'ils devaient supporter le poids de la voûte.

La construction de la coupole de Saint-Pierre de Rome n'a exigé que vingt-deux mois de travail.

§ 3. *Coupole du Panthéon de Rome.*

La plus grande coupole qui ait été construite en maçonnerie est celle du Panthéon de Rome; elle a 43^m,502 de diamètre.

L'art de la charpenterie peut avoir quelque intérêt à la solution de la question, de savoir si des cintres en charpente ont été établis pour sa construction, ou s'il a contribué, par quelque autre moyen, à l'exécution de ce grand ouvrage.

Les avis des architectes et des antiquaires ne décident rien à ce sujet. L'opinion vulgaire, à Rome, est qu'on n'a point établi de cintres pour bâtir cette magnifique coupole. On prétend qu'après que les murs circulaires qui la soutiennent ont été construits, on a rempli l'intérieur de terre fortement comprimée, et qu'on en a amassé un volume suffisant pour former le galbe ou moule très-solide de la voûte. Après que la coupole fut complètement achevée, le peuple romain fut appelé à déblayer l'intérieur, des terres qui y avaient été amoncelées, et l'on ajoute que, pour l'encourager dans ce travail, on avait eu soin de semer d'avance dans les remblais des pièces de monnaie qui lui étaient abandonnées.

Rondelet (tome IV, page 375) regarde cette version comme une fable, attendu, dit-il, que l'art de bâtir était, au temps d'Auguste, arrivé à une telle perfection, qu'il n'est pas probable qu'on ait usé d'un moyen qui n'appartient qu'à l'enfance de l'art, et son opinion est qu'on a dû établir des cintres en charpente légère qui ont servi d'échafaud. Quant à nous, le remblai en terre, moyen qui avait été plusieurs fois pratiqué à Rome, que l'on pratique quelquefois encore aujourd'hui pour des petites voûtes, nous paraît si simple, que nous ajoutons foi à la tradition populaire. Elle est d'ailleurs d'accord avec l'économie de la dépense; car il est plus que probable que les frais du remblai de 60,000 mètres cubes de terre remplissant l'enceinte du Panthéon et formant le galbe de sa coupole, pour servir en même temps de cintre et d'échafaud, joints au sacrifice fait pour semer d'avance quelques pièces de monnaie dans ce remblai, n'ont pas dû atteindre, à beaucoup près, les sommes qu'aurait coûté l'établissement des cintres ou même des plus simples enrayures pour la construction d'une voûte d'un aussi grand diamètre, dont la naissance est à 25^m,778 et le sommet à 47^m,53 du sol.

§ 4. *Cintres du dôme du Panthéon à Paris.*

Rondelet a profité, dans la construction des voûtes du dôme du Panthéon, de la propriété dont jouissent les voûtes en coupole composées de cours de voussoirs formant des anneaux horizontaux, et les échafauds indispensablement nécessaires pour monter les matériaux et porter les ouvriers lui ont servi pour soutenir les cours annulaires des voussoirs; ces échafauds n'ayant jamais eu à porter qu'une seule assise et seulement pendant la pose des voussoirs qui la composent, cette assise se soutenant

seule aussitôt qu'elle était entièrement posée. Nous donnons, fig. 2 et 3 de la planche CXXVI, les dessins des échafauds-cintres dont il s'agit, d'après les dessins que Rondelet a fait graver dans son *Art de bâtir*. Ces échafauds-cintres étaient liés aux échafauds extérieurs représentés sur la même planche, et dont nous avons parlé ci-dessus, page 351.

La figure 2 est une coupe suivant la ligne *c m* du plan, fig. 4 et 5.

La figure 3 est une coupe suivant la ligne *c b* du même plan.

La figure 1 est le plan de l'enrayure établie au niveau *x y* de la naissance de la voûte.

§ 5. *Cintres pour petites voûtes en cul-de-four.*

Quelque petite que soit une voûte, les cintres en bois qui doivent servir à sa construction sont établis par les charpentiers.

Lorsqu'il s'agit d'une calotte sphérique d'un petit diamètre que l'on nomme ordinairement *cul-de-four*, parce que cette forme de voûte est principalement employée pour couvrir les fours, au lieu de cintres d'assemblages, on se sert de madriers de champ et même de planches de champ pour les plus petites voûtes de cette espèce. Les madriers ou les planches sont taillés suivant le profil générateur de la voûte; on les pose d'un bout au niveau de la naissance en les soutenant sur quelques briques, ou par le moyen de petits montants verticaux sur lesquels on les cloue; vers le centre, ils sont tous réunis sur un poinçon commun. Leur écartement le plus grand sur le contour du four ne doit pas dépasser la longueur d'une des briques qu'ils doivent soutenir pour former la voûte.

VIII.

DÉCINTREMENT.

§ 1. *Ancien procédé pour décintrer.*

On donne le nom de décintrement à l'opération par laquelle on débarrasse une voûte des supports qu'on a donnés à ses éléments pendant sa construction. Cette opération est extrêmement délicate, elle demande beaucoup de prudence et surtout une longue patience, car il faut accorder

le plus de temps possible à la dessiccation des mortiers, afin qu'ils puissent prendre une consistance assez grande pour résister convenablement à la pression qu'ils doivent éprouver de la part des voussoirs entre lesquels ils se trouvent interposés. On doit concevoir que, si l'on abandonnait subitement une voûte à elle-même avant que les mortiers aient acquis la dureté convenable, il se ferait un tassement rapide qui dépasserait les limites qu'on lui aurait supposées, et qui pourrait occasionner les plus funestes accidents.

Autrefois, on faisait du décintrement, notamment de celui des arches des ponts, un objet de spectacle et de surprise pour les personnes qui n'étaient point initiées aux procédés de l'art. Après qu'on avait enlevé, presque secrètement, les cales qui soutenaient les voussoirs sur les cintres et les liernes qui reliaient la charpente, au moyen de l'effort d'un nombre suffisant de cabestans, on faisait écrouler les cintres de toutes les arches à la fois, et, après leur chute, le pont se montrait à la foule d'autant plus émerveillée qu'elle croyait que ce pont avait été soutenu sur ses cintres jusqu'au dernier moment.

On procédait à l'enlèvement des cales avec lenteur, on ne les enlevait pas successivement, on ôtait d'abord celles d'un couchis entre deux, on dédoublait celles qu'on avait laissées. En opérant ainsi, on donnait au pont la puissance de presser de plus en plus sur les couchis qui n'étaient pas enlevés. On avait la précaution d'opérer symétriquement de chaque côté des arches et sur toutes les arches en même temps pour les ponts dont les piles n'avaient point assez d'épaisseur pour servir de culées. Malgré ces précautions, on ne tarda point à reconnaître que les arches se trouvaient soutenues au dernier moment sur des points trop écartés les uns des autres; que le tassement pouvait n'être pas uniforme, et qu'il devait en résulter une sorte de serpentement dans la courbure des voûtes. On a donc eu recours à un autre moyen qui a été pratiqué au pont de Nemours.

§ 2. *Décintrement du pont de Nemours.*

Après la clôture des voûtes du pont de Nemours, la pression des voussoirs sur les cales était devenue si grande, à cause de la forme surbaissée des arches, qu'il fut impossible de les arracher, du moins sans danger; l'on prit alors le parti de faire ruiner lentement, avec beaucoup de précaution et en faisant usage d'outils tranchants, les abouts inférieurs des arbalétriers; il en est résulté que ces abouts cédaient peu à peu à la charge des voûtes, et que leur tassement s'effectuait avec lenteur et en même temps que celui des cintres; de telle sorte qu'il est arrivé un

instant où les cintres tassaient seuls, et l'on a pu sans crainte les enlever complètement. Mais il faut que le tassement puisse se faire très-lentement, et éviter toute secousse tendant à lui imprimer une vitesse qui pourrait occasionner, sinon des chocs, au moins des accroissements trop rapides de pression qui feraient éclater les pierres; c'est donc avec la plus grande prudence que les charpentiers doivent procéder à ce mode de décintrement.

§ 3. *Décintrement du pont du Strand.*

Dans quelques constructions de voûtes, on a substitué au procédé de la ruine des abouts des arbalétriers, celui bien préférable de faire descendre les cintres lentement en redressant des coins placés sous les sablières. Un des procédés les mieux imaginés est celui dont on s'est servi au pont du Strand, à Londres; nous en avons représenté, fig. 12, pl. CXLII, une arche avec son cintre.

Les cintres de ce pont étaient formés de pièces qui se croisaient dans des points tellement multipliés que leur figure était invariable; on avait adopté pour eux le système des cintres retroussés, c'est-à-dire qu'on ne les avait fait commencer qu'aux points où ils étaient nécessaires pour la pose des voussoirs, et aux joints inclinés sous des angles de 30°, au-dessous desquels ces cintres étaient soutenus à chaque bout sur trois pièces de bois *b d*; la ligne de milieu de celle *b* était normale à la courbure de l'arche.

La pièce supérieure *a* servait de blochet et recevait les assemblages de tous les abouts inférieurs des premières contre-fiches; celle inférieure *d* était fixée sur cinq sablières soutenues par autant d'étais qui portaient sur des semelles couchées dans les retraites formées par les assises des fondations.

La troisième pièce *b* était interposée entre les deux premières *a d*; elle les joignait par des endents ou crémaillères faits avec précision et se correspondant exactement en dessus et en dessous. On voit qu'en poussant ou en tirant les pièces *b* de chaque naissance, elles pénétraient entre les pièces *a* et *d* ou s'en dégageaient, et que celles-ci se rapprochaient ou s'écartaient, et que, par conséquent, les pièces *d*, ne pouvant s'abaisser, les pièces *a* descendaient ou montaient suivant le sens des mouvements imprimés aux pièces *b*, et avec elles tout le système du cintre put se mouvoir aussi lentement qu'on voulut. On peut ainsi opérer l'abaissement du cintre avec toute la régularité et la lenteur qui étaient nécessaires.

Lorsqu'on posait un cintre, la pièce *b* était amenée à la place conve-

nable, pour que le cintre fût à la hauteur où il devait être pour recevoir les voussoirs, et sa position était fixée en mettant des cales ou doubles coins de sûreté entre les abouts des crémaillères.

Ces crémaillères étaient desserrées en frappant sur le bout le plus mince de chaque pièce *b*, ayant préalablement enlevé les clefs ou cales de sûreté, ce qui produisit l'abaissement qu'on voulut donner au cintre. Les lignes de division marquées sur les faces des pièces *a*, *b*, *d* servirent à régler le mouvement des pièces *b*, de façon que l'abaissement des cintres s'est opéré dans toutes les fermes également et très-lentement.

IX.

EMPLOI DU FER DANS LES CINTRES.

Le fer est employé dans les cintres, comme nous l'avons fait remarquer à l'égard des ponts, de la même manière et dans les mêmes circonstances que dans les fermes des combles.

La description de l'emploi du fer, dont il va être question, est le complément de ce que nous avons déjà dit sur ce sujet dans le chapitre XXXIII.

§ 1. *Pont du Strand.*

Les cintres de ce pont sont fort remarquables, à cause de l'ingénieux moyen qu'on y a employé pour opérer le décintrement que nous avons décrit dans le paragraphe précédent; il ne mérite pas moins d'attention à cause de la bonne combinaison des bois dans la composition de chaque ferme; nous en avons représenté une fig. 12, pl. CXLII.

Les grandes contre-fiches qui se réunissent sur différents points de la courbure de l'arche, forment deux à deux, et avec la ligne *a a* qui joint leurs pieds, des triangles que l'on peut regarder comme fixes, vu la résistance complète des culées qui équivaut à celle d'un entrail. Il suit de cette combinaison une stabilité complète, dans la courbure du cintre, qui est par cette raison un cintre fixe; ce qui néanmoins n'a pas paru devoir dispenser de la précaution usitée au pont de Neuilly pour maintenir l'équilibre, par une égalité approximative de pression, en chargeant les cintres, pendant la construction, avec les voussoirs qui devaient y être employés.

Les contre-fiches de ce cintre, en se croisant, sont assemblées par des entailles à mi-bois; dans les endroits, *v* et *u*, où ces entailles s'étendent sur de trop grandes longueurs, on a remédié à l'affaiblissement des contre-fiches par des moises pendantes *m*, *n*. Mais dans trois points, *x*, *y*, *x'*, de ce système, le nombre des contre-fiches qui se croisent au même point est trop grand pour que les entailles soient praticables, et l'on a eu recours à un moyen qui avait déjà été mis en usage au pont de Blacksfriars à Londres; on a réuni tous les abouts des contre-fiches devant concourir au même point, dans une sorte de moyeu en fer coulé qui reçoit six abouts en *x* et *x'* et huit en *y*. Ce mode d'assemblage est pratiqué avec assez de justesse pour qu'on puisse regarder les contre-fiches qui sont dans le même alignement comme étant d'une seule pièce.

§ 2. *Cintre pour la construction d'un tunnel.*

Ce cintre a été construit pour l'exécution du tunnel du canal de la Medway.

Chaque ferme représentée en place dans le profil du tunnel, fig. 12, pl. CXLIII, est construite sans aucun tenon ni mortaise autres que ceux indispensables pour l'assemblage des blochets qui tiennent lieu de tirants; tous les autres assemblages sont faits sur chantignoies ou sur sabots en fonte, boulonnés aux pièces qui doivent recevoir les assemblages.

Chacune de ces pièces de fonte de fer porte dans son milieu une cloison qui reçoit les enfourchements des pièces de bois assemblées.

La nature du sol a permis d'établir les entrants sur les massifs conservés entre les pieds-droits.

CHAPITRE XLII.

CHARPENTERIE DE FONDATIONS.

Les terrains sur lesquels on veut établir des édifices n'ont pas tous la solidité nécessaire pour en supporter le poids. Parmi les moyens que l'on a employés pour rendre un mauvais sol capable de résister à la charge d'une grande construction, les pilotis ont pendant longtemps tenu le premier rang, et, malgré quelques faits récents, il n'est point encore démontré que ce moyen ne soit pas le plus souvent le meilleur.

Un pilotis est composé d'un grand nombre de pilots enfoncés le plus ordinairement verticalement dans le sol sur lequel une fondation doit être élevée. Nous traiterons, au II^e paragraphe du chapitre XLVIII, des machines à enfoncer les pilots et de leur usage.

Les constructeurs n'ont point une opinion unanime sur l'effet des pilots : les uns veulent qu'ils n'aient pour objet, comme des bras ou des racines, que d'aller chercher, au travers d'un mauvais fond, une couche solide, et de servir d'appui aux constructions; d'autres les regardent comme propres à soutenir le poids d'un grand édifice, précisément par l'effet de la somme des frottements qu'ils éprouvent dans le sol et qui les empêchent d'y pénétrer plus avant que le battage n'a pu les y enfoncer; d'autres, enfin, les considèrent comme un moyen de comprimer le sol en tous sens autour d'eux jusqu'à une profondeur égale à leur longueur, de façon à en former une masse plus compacte et par conséquent plus propre à supporter la charge d'un grand poids. Nous pensons que les pilots, suivant les sols où ils se trouvent placés, peuvent avec avantage remplir le but qu'on se propose, en produisant l'un des effets qu'on leur a attribués. Il serait, néanmoins, très-souvent imprudent de compter sur l'un de ces effets sans avoir mûrement étudié les circonstances dans lesquelles il s'agit d'employer les pilotis.

Ainsi, sous le rapport de la compression, les pilots sont sans efficacité dans un sol argileux, qui non-seulement cède jusqu'à une grande distance horizontale, mais qui se relève et fait remonter les premiers pilots chassés lorsque l'on en bat de nouveaux.

Il paraîtrait cependant que, fichés jointifs dans un fond de cette nature, ils ne sont pas sans efficacité; car, après avoir fait démolir la tour de la Chaîne, du port de la Rochelle, qui était dans un état de délabrement alarmant, pour la faire reconstruire, en 1819, j'ai trouvé sous les fondations d'une partie d'un quai, contigu dans l'intérieur du port, une forêt de petits pilots fichés les uns près des autres, tout à fait jointifs, sans aucun intervalle; il en était résulté comme un nouveau fond qui avait assez bien résisté pour soutenir la portion de mur du quai dont il s'agit, qu'il fallut démolir pour opérer l'élargissement de l'entrée du port.

Au surplus, c'est au constructeur à étudier avec soin la nature du sol dans lequel il s'agit de piloter, et les effets qu'on doit attendre de ce mode de fondation. Pour ce qui concerne les charpentiers, nous n'avons qu'à indiquer les procédés qu'ils emploient pour l'exécution des travaux qui leur sont confiés dans les fondations d'un édifice quelconque. Nous allons, en conséquence, décrire quelques-unes des fondations sur pilots et grillages les plus remarquables, et nous observerons qu'en général on ne doit jamais employer de bois dans une fondation, qu'avec la certitude qu'ils seront toujours couverts d'eau, ou dans un sol tel que son humidité équivale à une immersion complète et constante. Nous ajouterons enfin que, dans les travaux à la mer, il faut soigneusement éviter de placer des bois de fondation dans l'eau salée, où ils peuvent être atteints par les tarets et les pholades, dont nous avons parlé, tome I^{er}, page 217.

Lorsqu'un terrain a nécessité l'emploi de pilots pour recevoir une fondation en maçonnerie, où lorsque sa mollesse a déterminé à fonder sans pilotis, on établit sous la maçonnerie un grillage en charpente qui a pour objet de présenter à la construction une assiette unie qui ne permet à aucune partie de s'enfoncer dans le sol isolément, et qui prévient toute dislocation qui pourrait résulter d'un tassement inégal, suite d'une inégalité de résistance dans le sol.

La nature du sol, l'espèce des matériaux qui doivent être employés et la forme de l'édifice en maçonnerie que la fondation doit supporter, objet que nous n'avons point à discuter ici, déterminent le nombre, la force et la combinaison des bois que les charpentiers sont chargés d'assembler et de poser dans les fondations. Les moyens de mettre en place les ouvrages en bois des fondations sont différents, suivant que les charpentiers peuvent travailler à sec par l'effet d'épuisement, ou qu'on est obligé d'établir les bois sous l'eau, ou de fonder par caissons; mais le travail des bois, leur tracé, leurs assemblages, sont exécutés par les mêmes moyens que ceux que nous avons décrits aux chapitres VIII et IX, et qui s'appliquent à toutes les parties de l'art.

§ 1. *Grillages.*

Un grillage est composé de pièces de bois horizontales, nommées chapeaux ou longrines, qui sont posées sur les têtes des pilots de chaque file : ces longrines sont croisées ordinairement à angle droit et en dessus, par d'autres pièces du même équarrissage, que l'on nomme traversines ou racinaux ; chaque cours répondant aussi à une file de pieux, est ordinairement entaillé réciproquement et à mi-bois, ou moins profondément, ce qui est préférable, avec les longrines.

Tous les bois d'un grillage doivent être du même échantillon, ayant au moins 25 à 30 centimètres d'équarrissage.

Un grillage de cette sorte est représenté, fig. 7, pl. CXLIV, en projection horizontale, et fig. 6, dans une coupe sur laquelle est aussi figuré le profil de la maçonnerie que ce grillage supporte. Quand une fondation s'exécute par épuisement, c'est-à-dire lorsqu'on a mis complètement à sec le sol dans lequel le pilotis doit être établi, on peut aisément recéper les pilots exactement au même niveau et réserver sur leurs têtes les tenons qui doivent entrer dans les mortaises creusées dans chaque chapeau.

Pour tracer sur les têtes des pilots le plan du recépage, on se sert de règles bien dressées et d'un bon niveau de maçon.

On peut aussi faire usage du niveau d'eau, ou du niveau à lunettes ; mais les charpentiers adroits préfèrent avec raison le niveau de maçon, qui permet, aussi bien que tout autre, les plus exactes vérifications et qui est plus commode dans les mains des ouvriers.

Lorsqu'à peu de frais on peut introduire momentanément de l'eau dans le travail et l'y maintenir tranquille et à une même hauteur pendant le temps très-court qui est nécessaire pour marquer son niveau sur chaque pilot, on a le moyen le plus simple, le plus commode et le plus exact pour tracer le recépage.

Autant qu'on le peut, on trace avec le cordeau tous les abouts des tenons sur les têtes des pieux d'une file, afin qu'ils soient tous sur le même alignement, et que les mortaises des chapeaux, tracées de même, leur correspondent exactement.

Les entailles, entre les longrines et les traversines, sont tracées en piquant les bois par le procédé ordinaire, après qu'on a présenté les traversines aux places qu'elles doivent occuper.

Les entailles n'ayant pour objet que d'empêcher les pièces du grillage de glisser les unes sur les autres, il suffit de leur donner 2 à 3 centimètres

de profondeur, la pression que doit opérer la maçonnerie élevée sur le grillage suffit pour maintenir leur assemblage.

Les fonds des entailles de tout le grillage doivent être dans un même plan de niveau et tracés à cet effet par des lignes battues au cordeau sur toute la longueur des pièces du grillage.

Lorsque les entailles sont faites, et que les chapeaux sont de nouveau assemblés sur les pieux, on doit vérifier si effectivement les fonds des entailles de leurs faces supérieures sont toutes dans le même plan de niveau, afin que les traversines qui doivent s'y assembler arrivent toutes en joint en même temps, et que les joints éprouvent tous la même pression. Cette vérification est faite avec une règle dressée avec précision et un niveau de maçon; s'il y a des entailles plus élevées les unes que les autres, on doit, avec l'herminette, les ramener au niveau commun; si, au contraire, une entaille se trouve trop profonde, on peut remédier à ce défaut en laissant du bois dans l'entaille de la traversine qui doit s'y assembler; mais on doit s'abstenir scrupuleusement de l'emploi des cales.

Le dessus du grillage doit être dégauchi de niveau et dressé avec soin pour recevoir le plancher formé de madriers bien dressés, sans aucun gauche et tous de la même épaisseur.

Ces madriers sont retenus sur le grillage au moyen de longues broches de fer.

§ 2. Fondations du pont de Neuilly.

Le plancher sur lequel la maçonnerie du pont de Neuilly est fondée ne porte que sur des racinaux parallèles et de niveau qui coiffent les pieux battus par files perpendiculaires au tracé du parement de la maçonnerie. Les racinaux sont assemblés à tenons et mortaises sur les pieux.

La fig. 5, pl. CXLIV, représente cette disposition sur la projection horizontale, d'après la *Description du pont de Neuilly*, qui fait partie des Œuvres de Perronet. Les racinaux sont assemblés à queue d'hironde sur les chapeaux ou ventrières qui coiffent les pieux du pourtour de la fondation.

La fig. 4 est une coupe suivant la ligne xy de cette fondation et de la maçonnerie qui s'élève au-dessus, tant pour la culée du pont que pour ses piles.

§ 3. Fondations d'un mur de quai du port de la Rochelle.

La fig. 2 est un plan et la fig. 3 est un profil, suivant la ligne uv , du

système de fondation qui est suivi, depuis plusieurs années, par les ingénieurs des ponts et chaussées, pour la construction des nouveaux murs de quai du port intérieur de la Rochelle, très-beau travail qui a eu un entier succès.

Ce travail a été fait à *la marée*, c'est-à-dire pendant les heures où la mer, en se retirant, laissait la fondation à sec. On s'est contenté d'un plancher porté par des racinaux parallèles.

§ 4. *Grillage double.*

J'ai représenté, fig. 9, pl. CXLIV, en projection horizontale, et fig. 8, sur une coupe par un plan vertical suivant la ligne $z y$, le système de grillage dont j'ai fait usage pour la fondation de la tour renfermant la manœuvre de la chaîne du port de la Rochelle.

Le terrain est à peu près de même nature que celui dont il vient d'être question; c'est un banc de terre glaise, d'un bleu gris foncé, d'une épaisseur considérable et dans lequel des pilotis n'auraient été d'aucune utilité.

Ce grillage est composé de deux épaisseurs de longrines et de deux épaisseurs de traversines qui se croisent à angles droits par lits alternatifs; cette grande épaisseur a été donnée aux grillages pour diminuer sa flexibilité, ce qui était nécessaire, vu la grande étendue en longueur et en largeur (42 mètres sur 15) de la fondation de la nouvelle tour. En pareille circonstance, plus on emploie de longrines et de traversines, plus la solidité du grillage est grande, et moins il est flexible, sans que la dépense soit augmentée, lorsque le bois employé de cette manière coûte moins que la maçonnerie.

Ces longrines et traversines, en bois de fort échantillon, sont assemblées par entailles réciproques de 0^m,03 de profondeur; elles sont serrées par de forts boulons à tous les points où elles se croisent.

La fondation avait été épuisée, et le grillage a été construit sur l'emplacement qu'il devait occuper, soutenu sur des chantiers en chaises, afin que les charpentiers pussent passer dessous pour placer les boulons. Lorsqu'il a été terminé et garni en dessous d'un plancher à claire voie pour soutenir la maçonnerie qui devait remplir ses cases, on a introduit de l'eau dans la fondation pour le mettre à flot et retirer tous les chantiers qui l'avaient soutenu; l'eau de nouveau épuisée, il est descendu sur le sol, où on l'a établi avec précision dans la position qu'il devait avoir. Lorsque toutes ses cases ont été remplies en bonne maçonnerie de chaux hydraulique, on a posé entre les longrines supérieures des lam-bourdes arasant exactement ces longrines, pour former un solivage so-

vide pour le plancher qui devait porter la maçonnerie en pierre de taille. Après avoir rempli également en maçonnerie hydraulique les espaces entre les lambourdes et les traversines, on a cloué le plancher, et la maçonnerie a été élevée avec le plus grand soin de niveau dans toute l'étendue de l'ouvrage (1).

§ 5. *Recépage des pieux et fondation par caissons.*

Lorsque l'on travaille sous l'eau, les pieux ne peuvent être recépés qu'au moyen de la scie mécanique à recéper, dont nous avons déjà parlé tome I^{er}, mais alors on ne peut ménager aucun tenon sur les pieux, et les grillages, qui sont construits à part, sont amenés à flot et sont ensuite coulés à fond, et, si l'on a apporté un soin suffisant dans le pilotage, les longrines de ce grillage posent exactement sur les têtes des pieux. On n'a dû négliger aucun moyen pour relever exactement les positions des pieux, et les rapporter sur l'éte lon qui sert à établir, piquer et assembler les bois du grillage qu'on lance à flot, et que l'on soutient, s'il le faut, au moyen de barriques vides.

Le grillage amené sur l'emplacement qu'il doit occuper est coulé à fond en le chargeant de pierres, et lorsqu'il est à sa place, lorsque l'eau est peu profonde, pour remplacer les tenons qu'on n'a pas pu faire, on le fixe sur les pieux par de longues et grosses chevilles de fer verticales qui le traversent et pénètrent dans les pieux; les trous, dans le grillage, sont faits d'avance, et l'on enfonce les chevilles à l'aide d'une barre de fer terminée inférieurement par une sorte de cloche qui coiffe les chevilles, tandis que l'on frappe sur la tête de cette tige qui s'élève au-dessus de la surface de l'eau. Nous ferons remarquer que cette précaution n'est pas indispensable; elle peut être bonne pour maintenir le grillage dans les premiers moments de la construction, vu que la grande pression opérée ensuite par la maçonnerie qui est élevée sur la fondation imprime les têtes des pieux quelquefois de 2 à 3 millimètres dans les longrines; ce qui est un obstacle suffisant pour empêcher le glissement du grillage sur les pieux.

Lorsque l'eau est profonde, bien que les pieux puissent être recépés avec précision au moyen des scies à recéper sous l'eau, les difficultés que présenterait la construction d'une maçonnerie sans épousement, a

(1) J'ai suivi dans cette construction, pour l'appareil de la pierre de taille, le système que j'ai décrit dans mon ouvrage sur le *Mouvement des ondes*, auquel je renvoie pour cet objet.

déterminé l'invention du procédé de fondation par caissons qui évitent la dépense excessive des épaissements.

Le fond d'un caisson est formé de pièces de bois assemblées comme celles d'un grillage; il est garni de son plancher, il doit reposer sur les pieux; des pans verticaux s'ajustent au pourtour de ce grillage et composent ainsi une sorte de ponton profond rendu étanche par le calfatage.

Chaque caisson est mis à flot et amené sur la place qu'il doit occuper; on construit dans l'intérieur la maçonnerie, et lorsqu'il est suffisamment chargé, on l'échoue sur les pieux, on continue la maçonnerie, et lorsqu'elle atteint un niveau assez élevé, l'eau est introduite dans le caisson et ses parois sont enlevées par le jeu de quelques pièces de ferrures préparées en les construisant; le fond du caisson reste seul et forme le grillage intermédiaire entre les pieux et la maçonnerie.

Le fond de chaque caisson est construit avec toutes les précautions et moyens de vérification d'usage, pour que les pièces qui en composent l'assemblage correspondent très-exactement sur les pieux.

Quelques constructeurs, pour prévenir les imperfections de la coïncidence des bois du fond d'un caisson avec les têtes des pieux, ou plutôt pour rendre, suivant eux, cette coïncidence inutile, ont imaginé de former le fond de chaque caisson avec des bois carrés, jointifs sans aucun intervalle. Malgré le succès de plusieurs grandes et belles constructions pour lesquelles cette disposition a été suivie, on ne peut s'empêcher de reconnaître que l'on n'a remédié qu'imparfaitement au mal qu'on voulait prévenir, puisqu'il arrive qu'un grand nombre de pièces ne portent point, et que, parmi celles qui portent, plusieurs portent à faux et incomplètement sur les pieux. Cette disposition d'ailleurs consomme beaucoup de bois qui seraient plus utilement employés dans plusieurs circonstances à consolider le fond du caisson devant servir de grillage, en superposant des longrines et des traversines pour leur donner en même temps plus d'épaisseur et de force.

§ 6. *Fondation d'un mur de quai à Rouen.*

La figure 1 de la planche CXLIV est un profil dans lequel est représenté le système de pilots et de moises employé par Lamandé, en 1784, pour fonder le mur d'un quai à Rouen, du côté de Saint-Séver. Ce dessin est extrait du Recueil des lithographies de l'École des ponts et chaussées.

§ 7. *Palplanches.*

Les palplanches sont des planches épaisses, c'est-à-dire des madriers plantés dans le sol comme des pieux; elles sont employées pour former, autour des fondations, des cloisons qui ont pour but de prévenir les affouillements qui pourraient provenir, ou de l'action de l'eau sur le fond, ou des sources qui surgissent quelquefois du même fond. Les palplanches ont aussi pour but de contenir des terrains peu consistants et de les empêcher de fuir sous la compression des constructions dont on doit les charger. D'autres fois, enfin, les palplanches ont pour objet de contenir les terres dont on forme des batardeaux.

Quel que soit le but qu'on se propose en établissant des files de palplanches, elles sont battues au moyen de sonnettes et en suivant les mêmes procédés que pour battre les pieux. Nous n'anticiperons point sur ce que nous avons à dire à ce sujet, nous remarquerons seulement que les palplanches devant former des cloisons verticales, il faut les plus grandes précautions pour en diriger le battage.

Nous avons représenté, fig. 16, 17 et 18, pl. CXLIV, trois coupes horizontales de trois files de palplanches, et nous avons marqué sur chacune une des dispositions qui étaient adoptées autrefois pour former les joints verticaux suivant lesquels les palplanches devaient se toucher. Celle tracée fig. 17, appelée *grain d'orge*, était usitée pour les palplanches de peu d'épaisseur; celle de la figure 18 s'appliquait aux palplanches de moyenne épaisseur, et le grain d'orge était accompagné de deux bords plats pour ne pas diminuer trop la largeur des faces de parement de chaque palplanche; enfin, la forme des joints, représentée fig. 16, n'était appliquée qu'aux palplanches très-épaisses.

Nous avons représenté, fig. 15, la partie inférieure d'une file de palplanches dans laquelle elles sont vues sur une de leurs faces les plus larges ou de parement. Les pointes des palplanches étaient taillées de diverses manières : quelques constructeurs les formaient en pyramides, comme celles des pieux; d'autres les taillaient comme le tranchant d'un fermail, par deux plans répondant à leurs grandes faces, comme on voit la palplanche isolée, fig. 14, vue sur la surface la plus étroite; d'autres leur donnaient la forme d'un bédâne, fig. 13; enfin, le plus grand nombre donnaient à leurs pointes une forme qui participait à toutes ces dispositions : c'est ainsi que sont représentées celles de la figure 15.

Toutes ces dispositions étaient données aux palplanches dans la vue de faciliter leur battage, afin que, d'elles-mêmes, elles descendissent

verticalement en se serrant contre celles déjà battues et en suivant les rainures dans lesquelles on les engageait.

Mais, malgré toutes ces précautions, les palplanches ne suivaient pas toujours la direction qu'on aurait voulu leur donner, et l'on était forcé d'être satisfait de les avoir plantées le moins mal possible.

On se contente aujourd'hui de laisser les quatre faces des palplanches planes; on les équarrit et on les dresse exactement, parce que la perfection de leur forme contribue à la régularité de leur battage.

Lorsque le sol dans lequel on enfonce des palplanches est très-dur, on est forcé de les garnir d'un sabot en fer. Les formes que nous venons de décrire rendraient la confection et la pose des sabots fort difficiles; on préfère donc faire les pointes droites, comme celles des pieux, lorsqu'on veut les saboter en fer. C'est ce qui se pratique maintenant, et même, au pont d'Ivry, M. Emmerly s'est servi, pour les palplanches, de sabots de fer coulé comme pour les pieux, à l'exception qu'au lieu de donner à ces sabots la forme d'un cône droit à base circulaire, il leur a donné celle d'un cône droit à base elliptique, dont les axes sont égaux aux deux dimensions de l'équarrissage des palplanches.

Dans la fondation représentée par les fig. 2 et 3, pl. CXLIV, deux files de palplanches ont été battues en avant et en arrière de l'empatement du mur de quai avant d'établir les racinaux et le plancher. Ces files de palplanches sont entremêlées de pieux dans la vue de fortifier ces sortes de cloisons. Cette disposition oblige à dresser les palplanches juste à la largeur nécessaire pour le remplissage entre les pieux qui sont battus les premiers; les pieux servent à fixer les moises horizontales entre lesquelles les palplanches sont battues; c'est un excellent moyen pour maintenir l'alignement des palplanches; et dans un fond aussi uniforme que celui sur lequel on travaillait, elles ont pu être battues régulièrement.

Dans la construction représentée fig. 6 et 7, des pieux sont battus extérieurement à la ligne des palplanches; ils portent les chapeaux contre lesquels sont appuyées ces palplanches contenues du côté intérieur par les assises de la maçonnerie en pierre de taille.

§ 8. *Palplanches inclinées.*

Le fond de glaise sur lequel est établie la fondation de la nouvelle tour de la Chaîne de l'entrée du port, à la Rochelle, étant fort mou, et craignant que les mouvements qui avaient entraîné la ruine de l'ancienne tour ne se renouvelassent, j'ai fait battre devant cette fondation, du côté du chenal du port, fig. 8, 9, 12, pl. CXLIV, deux files de palplanches verticales *p*, *q*,

les joints d'une file se trouvant couverts par les palplanches de l'autre file, et un troisième rang de palplanches *r* inclinées sous un angle d'environ 60° avec l'horizon.

J'avais observé que, dans le mouvement qui a eu lieu dans les fonds de la même espèce que celui sur lequel il s'agissait de construire la nouvelle tour, les palplanches cédaient non-seulement en s'inclinant par l'effet de l'écartement de leurs fiches, mais aussi en se contournant dans différents sens. J'ai pensé que, ne pouvant les retenir par des ventrières horizontales qui devraient être établies à une profondeur suffisante dans le sol, il n'y avait rien de mieux pour les empêcher de se tordre et de s'écarter par le bas, que de les astreindre à ne pouvoir se déplacer qu'en grand nombre en même temps. On voit qu'une palplanche verticale de la file intérieure, dans la disposition que j'ai adoptée, doit, pour se tordre ou s'écarter de la verticale, non-seulement déplacer les deux palplanches dont elle couvre le joint, mais toutes celles inclinées qu'elle rencontre dans la longueur de sa fiche.

Chaque palplanche est enfoncée dans le sol d'environ 8 mètres au-dessous du grillage, sa largeur est d'environ 0^m,50, ce qui fait une surface de 4 mètres. Pour qu'elle se voile ou qu'elle tourne sur elle-même, il faut qu'elle dérange environ 20 à 25 mètres carrés de palplanches inclinées; il faut donc, pour que le sol cède, que la totalité de la cloison verticale formée par les palplanches se meuve tout entière; dans ce cas, le tassement ne peut que se faire avec la plus grande uniformité, et c'est ce qui a eu lieu. Ces palplanches ont été battues avec une sonnette inclinée entre la ventrière *t* et les palplanches verticales, maintenues d'avance par des cales qui ont été remplacées, à mesure qu'elles pouvaient l'être, par les épaisseurs des palplanches inclinées.

La résistance serait plus grande si les palplanches inclinées étaient comprises entre deux files de palplanches verticales, mais la difficulté du battage serait trop grande. Il serait mieux, et plus facile, de battre deux files de palplanches inclinées en sens contraire, qui comprendraient une file de palplanches verticales battues les premières.

On voit, par cette courte description, que l'emploi des palplanches inclinées, combinées avec les palplanches verticales, est un moyen efficace de contenir le sol des fondations et d'en rendre le tassement uniforme, seul but qu'on puisse se proposer sur les fonds argileux et mous.

CHAPITRE XLIII.

CONSTRUCTIONS HYDRAULIQUES EN CHARPENTE.§ 1. *Batardeaux.*

On donne le nom de batardeau à tout obstacle qu'on oppose provisoirement au retour de l'eau qu'on veut épuiser dans l'emplacement d'une fondation.

Les batardeaux les plus communément employés sont composés d'une masse de terres contenues entre deux cloisons en palplanches consolidées par des pieux. Il n'entre pas dans notre plan de discuter dans quelles circonstances il convient d'employer des batardeaux pour faciliter le travail par des épuisements, ou de préférer à ce moyen celui de fonder à l'aide de caissons ou par tout autre procédé; cette discussion appartient exclusivement à l'art de fonder les maçonneries, et non à l'art de la charpenterie, chargée seulement, lorsqu'il y a lieu, de construire des batardeaux, de les établir dans des emplacements et selon des dimensions donnés. Nous avons choisi pour exemple les batardeaux qui ont servi au pont de Neuilly et aux différents grands ponts construits vers la même époque, tels qu'ils sont décrits dans les œuvres de Perronet, de Regemorte, etc.

La fig. 3 de la pl. CXLV est le détail de la construction d'un batardeau faisant partie d'une enceinte d'épuisement rectangulaire, comme on en établirait un pour la fondation d'une pile de pont; cette figure représente le profil du batardeau dans sa partie coupée, et une élévation en projection verticale de la partie adjacente à cette partie coupée, vu du côté de l'intérieur de l'enceinte formée par le batardeau.

Un batardeau est d'abord formé, pour chacune de ses parties, de deux files de pieux parallèles battues à une distance suffisante pour l'épaisseur que l'on veut donner aux terres, dites franches ou argileuses, qui doivent composer la masse imperméable du batardeau; les pieux sont battus dans chaque file à la distance et avec une longueur de fiche que l'on regarde comme suffisante, pour que la stabilité du batardeau soit assurée suivant la nature du sol. Pour obtenir ce résultat, il n'est pas toujours nécessaire que les pieux aient une très-longue fiche, ni qu'ils soient battus

au refus, il suffit que leur fiche et leur rapprochement soient suffisants pour que le batardeau résiste à la pression que l'eau exerce sur ses parois extérieures.

Les pieux sont liés les uns aux autres par des ventrières extérieures qui leur sont boulonnées et qui les rendent solidaires.

Les palplanches sont verticales; elles forment, sur les deux parois, les cloisons qui doivent contenir les terres. Pour rendre le battage des palplanches plus facile, et n'avoir à apporter un grand soin qu'au battage de quelques-unes, on forme des châssis composés de deux planches verticales réunies par leurs sommets et vers les points qui limitent leur enfoncement dans le sol par des madriers qui leur sont boulonnés comme des moises. Ces châssis sont posés et battus les uns près des autres avec autant de précision qu'il est possible, et lorsqu'ils sont enfoncés à la profondeur des liens les plus bas, on remplit l'espace entre les palplanches extrêmes avec d'autres palplanches qui sont ensuite battues à la même profondeur. On forme ainsi des deux côtés du batardeau les cloisons qui doivent contenir la terre que l'on jette dans l'eau pour former la masse imperméable des batardeaux; l'on a préalablement eu soin de lier l'une à l'autre par des liernes les ventrières des deux parois.

Lorsqu'on manque d'espace pour l'établissement d'un batardeau, et que, construisant à la mer, on est favorisé par la marée, on peut construire des batardeaux en toile rendue imperméable par un enduit de brai revêtissant extérieurement une simple cloison en palplanches. Cette toile, appliquée avec des clous, et réparée, s'il y a lieu, lorsque la mer est basse, suffit pour empêcher l'eau de pénétrer dans les travaux quand elle est ramenée par la haute mer; et si la hauteur d'eau à soutenir est grande, il suffit d'étayer convenablement la cloison formée de palplanches et de ventrières pour qu'elle résiste à la pression de l'eau.

J'ai fait usage, avec un succès complet, d'un batardeau de cette espèce dans la reconstruction de la tour de la Chaîne du port, à la Rochelle, pour exhausser de 2 mètres le batardeau en terre entourant la fondation, qui s'était abaissé par suite de la mollesse du fond, et qui ne garantissait plus du retour des eaux l'excavation des fondations creusée à 13 mètres au-dessous au niveau des plus hautes marées.

Lorsque la hauteur d'un batardeau en charpente est considérable, on lui donne des arcs-boutants comme ceux que nous avons représentés dans la fig. 7, qui est dessinée sur une échelle dans la proportion d'un quart, par rapport à celle de la fig. 3.

§ 2. Quais en charpente.

La figure 10 de la pl. CXLIV est une coupe faite dans un quai en charpente par un plan vertical, perpendiculaire à sa direction. Cette coupe présente la composition d'une des nombreuses fermes qui soutiennent le revêtement en bois formant le parement de ce quai. Cette ferme est composée de plusieurs pieux *a, b, c*, liés par une demi-moise horizontale *d*, et une demi-moise inclinée *e* à des pieux *p, q* et à une ventrière horizontale de retraite *r*; ces demi-moises ne lient ainsi les pieux du parement que de deux en deux. Tous les pieux sont liés sur le parement par des cours de ventrières *f*, assemblées par des entailles réciproques peu profondes et retenus par des liens en fer avec écrous.

Lorsque les quais de cette sorte sont exposés au choc des vagues de la mer, il est indispensable de placer les ventrières, et même la pièce horizontale supérieure, en arrière des pieux où elles tiennent lieu de quelques madriers, afin d'éviter qu'elles soient arrachées par les vagues, et si les vagues doivent courir le long du quai, les pieux sont ou jointifs ou revêtus pour éviter leur choc.

Sur la droite, nous avons projeté une partie de revêtement de quai en élévation, et dans la fig. 11 nous avons représenté, en projection horizontale, la liaison des demi-moises *e, d*, avec les pieux de retraite *p, q*, et les ventrières *r*. Des madriers de revêtement sont posés de champ et horizontalement contre les pieux, autant pour retenir le remblai *B* des terres fait au-dessus du sol naturel *C*, souvent de très-mauvaise qualité, que pour empêcher l'eau de pénétrer dans ce remblai; un corroi de terre argileuse *P* est appliqué sur toute la hauteur du quai en arrière des madriers et reposant sur un lit de fascines servant à consolider le fond, s'il n'est pas assez ferme pour supporter le poids de ce corroi.

§ 3. Jetées ordinaires.

Les jetées sont des constructions qui sont effectivement jetées et prolongées fort en avant dans la mer, dans la vue de garantir de l'agitation des flots un chenal ou un espace propre au mouillage. Les jetées en charpente sont établies sur des pilotis qui assurent leur stabilité; elles sont composées de fortes pièces de bois et leurs combinaisons ont pour but la plus inébranlable résistance contre les efforts de la mer. Elles ont été jusqu'ici construites à peu près suivant le même modèle, dont nous donnons un profil fig. 1 de la pl. CXLV, et un fragment de projection verticale fig. 2.

Le système de leur construction est assez simple : il se compose de fermes parallèles, espacées de 2 mètres environ de milieu en milieu. Chaque ferme est formée des traverses horizontales *b*, *d*, *h*, prises à leurs extrémités par des moises inclinées *a*, *e*, et dans le milieu par des moises verticales *f*; quelquefois ces moises sont converties en pieux. Les traverses sont combinées par des croix de Saint-André et des contre-fiches, et comme les bois sont de fort équarrissage et les pièces assez généralement courtes, il en résulte un assemblage d'une extrême solidité. Le coffrage des parements entre les moises est fait en madriers dont la longueur est placée suivant la ligne de pente du talus, et ils sont maintenus dans leurs positions par des ventrières qui s'étendent au-dessus et sont boulonnées après les moises inclinées.

L'intérieur de la jetée est rempli de pierres maçonnées à sec, mais arrangées avec le plus de soin possible, afin qu'elles ne puissent être dérangées par le mouvement de l'eau de la mer qui pénètre dans le coffrage.

§ 4. Digue de M. de Cessart.

La figure 14 est le profil d'une grande jetée en charpente, qui fut construite à Dieppe pour les travaux du port; ce profil est tiré de la planche XIII du tome II des œuvres de M. de Cessart, inspecteur général des ponts et chaussées. Dans cette construction, M. de Cessart a cru, avec raison, pouvoir s'écarter de la règle posée par Belidor, d'après laquelle la base des jetées devait être les trois septièmes de leur hauteur, comme dans le profil, fig. 1, que Belidor regardait comme présentant aux vagues le talus le plus convenable pour que le choc des lames soit le moins fort, sans que l'épaisseur de la jetée soit trop réduite à son sommet.

M. de Cessart a porté ce talus à une inclinaison beaucoup plus douce : sa base est presque égale à la hauteur de la jetée, ce qui fait que ce talus reçoit les vagues sur un angle qui leur présente moins de résistance.

§ 5. Digue concave.

La fig. 17 est le profil de la digue ou jetée que j'ai proposée dans mon ouvrage sur le *Mouvement des ondes* (1); j'ai fait à cette digue l'application de la forme concave, qui est la seule propre à détruire le choc des vagues et les effets des flots de fonds. Je renvoie le lecteur, pour de plus longs éclaircissements, à l'ouvrage que je viens de citer.

(1) *Du Mouvement des ondes et des travaux hydrauliques maritimes*, Paris, 1831, chez Anselin.

§ 6. *Portes d'écluses.*

Quel que soit le but d'une écluse, elle est toujours fermée par un vannage ou par des portes. Le vannage consiste en une cloison d'une seule ou de plusieurs pièces de charpente qui se meuvent verticalement au moyen de quelques machines. Les portes, également construites en charpente, se meuvent sur des axes verticaux, le plus ordinairement placés aux deux côtés du passage que les portes doivent fermer. Ces portes se meuvent, comme celles à deux battants de nos habitations, avec cette différence qu'au lieu de se trouver dans la même direction quand elles sont fermées, elles forment un angle saillant qui se présente à la pression de l'eau et produit une clôture plus parfaite, par la raison que cette pression de l'eau fait serrer les portes dans les feuillures qui répondent à leurs axes de rotation, en même temps qu'elles se serrent mutuellement dans le joint par lequel elles se touchent.

La fig. 13, pl. CXLV, est le plan d'une partie d'un canal de navigation dans lequel l'eau coulerait dans le sens indiqué par une flèche, si elle était abandonnée à elle-même, c'est-à-dire si elle n'était pas retenue par les portes pour servir à la dépense nécessaire au passage des bateaux dans le sas.

a est le bief supérieur, ou la branche du canal la plus élevée.

c est le bief le plus bas.

b est le sas ou chambre d'écluse qui sert à faire passer les bateaux d'un bief dans l'autre.

Les portes sont placées en *mdn*, *m'd'n'*; elles forment en *d* et *d'* l'angle saillant que l'on nomme *buse*. Les parties *mp*, *nq*, *m'p'*, *n'q'* sont les timons ou leviers au moyen desquels on fait tourner les portes sur leurs axes quand il en est besoin pour ouvrir ou fermer le passage du sas.

On peut faire communiquer les biefs avec la chambre d'écluse par des petites vannes percées dans les vantaux des portes, ou au moyen de petits aqueducs réservés dans les maçonneries des bajoyers et qu'on bouche par des vantelles manœuvrées d'en haut.

En mettant l'eau du sas au même niveau que celle du bief où se trouve le bateau qui doit franchir l'écluse, on ouvre sans résistance les portes de ce bief pour permettre au bateau d'y entrer; elles sont refermées immédiatement après que le bateau est entré dans le sas. Alors on met l'eau du sas au niveau de celle du bief dans lequel le bateau doit passer; lorsque l'eau est à ce niveau, les portes de ce bief sont ouvertes et le bateau peut sortir du sas pour continuer sa route.

Cette manœuvre s'exécute, soit qu'il s'agisse de faire descendre un

bateau du bief supérieur dans le bief le plus bas, soit qu'il s'agisse de le faire, au contraire, monter du bief le plus bas dans celui le plus élevé, et l'eau nécessaire à changer le niveau de celle du sas est toujours tirée du bief supérieur, ou évacuée dans le bief inférieur, suivant le sens de la route du bateau.

On conçoit, d'après cette courte explication nécessaire à l'intelligence de l'usage et des dimensions des portes, on conçoit, dis-je, que les biefs *a* et *c* étant à des niveaux différents, le fond de l'écluse *b* est nécessairement au niveau du fond du bief le plus bas, et que les portes du bief *a* ne doivent pas être de la même hauteur que celles du bief *c*, quoiqu'elles doivent s'élever toutes d'une égale quantité au-dessus du niveau des eaux du bief supérieur, puisque l'eau peut s'élever à ce niveau dans la chambre de l'écluse. Ainsi les deux paires de portes s'élèvent au même niveau toutes deux au-dessus de l'eau du bief supérieur; mais les portes du bief *a* n'ont de hauteur que celle nécessaire pour atteindre le niveau du fond de ce bief, tandis que celles du bief *c* doivent avoir la hauteur nécessaire pour atteindre le fond du bief *c*.

La figure 19, pl. CXLV, est le dessin d'une des portes d'une écluse du canal de Bourgogne, d'après celui gravé dans les Œuvres de Perronnet; la porte est vue par sa face interne par rapport au sas; cette porte serait celle d'*n'g'* de la fig. 13.

Chaque porte est composée d'un poteau-*tourillon a*, nommé aussi *chardonnet*, d'un poteau ou *montant de busc*, ou *poteau battant b* et d'un certain nombre d'entretoises horizontales *c* assemblées à tenons et mortaises dans les deux poteaux. Ces assemblages sont soutenus par un nombre de contre-fiches ou bracons *d*, inclinés de 45°, qui ont pour objet de maintenir la forme rectangulaire de la porte, que sa grande pesanteur tend à changer, vu qu'elle pèse sur ses assemblages avec toute la puissance que lui donne la longueur du levier qui a pour mesure la distance du centre de gravité au poteau-*tourillon*.

La porte est doublée par des madriers *e* qui ont près d'un décimètre d'épaisseur, et qui suivent l'inclinaison des bracons pour concourir avec eux au maintien de la forme de la porte. La pièce horizontale *f* se nomme balancier ou flèche; elle sert à faire au-delà du poteau en partie contre-poids de la porte; elle sert aussi de timon ou de levier pour la mouvoir. Les assemblages des entretoises et du balancier sont consolidés par des liens en fer.

La communication entre le sas d'écluse et les biefs devant se faire au travers des ventaux des portes, une vanne ou ouverture *h* est réservée près des poteaux de busc entre les entretoises les plus basses; un potelet *g* limite sa largeur et reçoit, ainsi que le poteau de busc, les coulisses dans

lesquelles se meut verticalement la pelle, vanne ou ventelle destinée à ouvrir et fermer l'ouverture; cette vanne est un plateau formé de l'assemblage de quelques madriers maintenus par deux traverses verticales sur lesquelles ils sont cloués. Le mouvement de la ventelle est limité par le bas sur une traverse ou seuillet établi au niveau de l'entretoise la plus basse. Cette ventelle est soulevée et abaissée suivant le besoin, au moyen d'une crémaillère en fer *i* qui lui est fixée et qui engrène dans un pignon aussi en fer garni d'une manivelle et renfermé dans une boîte en forte tôle de fer que le dessin n'indique point, vu qu'elle se trouve placée derrière la flèche *f*.

La fig. 18 est une coupe horizontale de cette porte suivant la ligne *xy*.

Les fig. 4 et 5, pl. CXLV, sont les dessins d'une grande et d'une petite porte des écluses de M. Jousselin jeune, auteur du canal de Saint-Quentin; leur système d'assemblage ne diffère de celui des portes du canal de Bourgogne, qu'en ce que le poids de chaque vantreau de porte a été beaucoup diminué par la réduction du nombre des bracons dont la multiplicité n'aurait rien ajouté à la solidité et aurait eu l'inconvénient d'augmenter le cube du bois et le poids des portes. Un seul cours de bracons a été employé; les bracons se correspondent en ligne droite et reportent les uns sur les autres les efforts qu'ils ont à supporter, qui se trouvent ainsi réunis au pied du poteau tournant, véritable point de résistance; mais attendu que, quelque soin qu'on apporte dans des assemblages et quelque serrés qu'on les fasse pour prévenir le tassement, les fibres du bois pressées latéralement cèdent toujours aux pressions opérées par le bois debout, pour prévenir tout affaissement du poteau du busc, des tirants en fer en diagonale croisent la direction des bracons et unissent le pied de chaque poteau de busc avec le sommet du poteau-chardonnet.

Chaque porte est revêtue d'un bordage comme celles du canal de Bourgogne. Les madriers sont de même inclinés, comme les bracons; ils sont reçus sur le cadre de la porte dans les feuillures, et passent par-dessus les bracons, dont l'épaisseur est réduite à cet effet.

La fig. 6 est une coupe horizontale de l'une de ces portes, notamment de celle qui est projetée verticalement au-dessus; cette coupe est supposée faite suivant la ligne *xy*.

L'espace nous a manqué sur la planche pour figurer complètement les flèches dans toute leur étendue.

Le pied du poteau-tourillon d'une porte d'écluse est garni d'un sabot ou crapaudine saillante, reçue dans une crapaudine creuse scellée dans le seuil de la porte. Le plus souvent les surfaces des crapaudines qui sont en contact et sur lesquelles se fait le mouvement de rotation de chaque poteau-chardonnet, sont des segments sphériques. Les crapaudines peuvent être en

fer coulé; les meilleures sont celles faites en bronze composé de onze parties de cuivre rouge et d'une d'étain fin.

Dans les anciennes portes d'écluses, le poteau-chardonnet est tenu par le haut par un collier en fer qui embrasse une partie arrondie en cylindre sur le haut de ce poteau au niveau des bajoyers. Cette disposition a l'inconvénient de détériorer promptement le chardonnet dans le contact du collier; on préfère placer dans l'axe du chardonnet un cylindre en fer qui passe dans l'œil d'une chappe qui se divise en deux branches dont les prolongements vont prendre des scellements solides dans la maçonnerie des bajoyers.

§ 7. *Combinaison du bois et du fer dans les portes d'écluses.*

Voici un nouvel exemple de l'heureuse association du fer et du bois dans un grand nombre de travaux. Dans les écluses de la navigation de la Seine, au port Marly, sont des portes dans lesquelles il n'y a plus en bois que les poteaux de busc et les entretoises; les poteaux chardonnets sont en fonte creuse des mêmes dimensions à peu près qu'auraient eues des chardonnets en bois. Les assemblages des entretoises, tant aux chardonnets qu'aux poteaux de busc, ne sont plus à tenons et mortaises, ils sont à plats joints; ils sont fixés au moyen d'équerres en fonte placées dans l'épaisseur de la porte sur les faces des pièces de bois, et elles sont retenues par des boulons. Les bracons sont en fonte. Les seules pièces en fer malléable sont les tirants diagonaux qui s'attachent aux pieds des poteaux des buscs et aux sommets des chardonnets. Enfin, le bordage et même les vannes sont en tôle épaisse.

Cette construction est due à M. Poirée, ingénieur en chef de la navigation de la Seine.

Ces nouvelles portes joignent à l'avantage d'une grande solidité, et probablement d'une grande économie, celui d'une réparation facile, en cas qu'il soit nécessaire de remplacer quelques bois, le remplacement pouvant être exécuté sans difficulté, et en n'enlevant que la seule pièce à remplacer.

§ 8. *Busc d'écluse.*

La maçonnerie des bajoyers des écluses présente des feuillures dans lesquelles les poteaux-chardonnets s'appuient lorsque les portes sont fermées, et comme ces poteaux joignent alors exactement les feuillures, l'eau, que les portes retiennent élevée, ne peut s'échapper, sinon en très-petite quantité, par ces sortes de joints. Il en est de même des joints formés

par le contact des poteaux de busc, qui est plus parfait, parce que les deux surfaces en bois se moulent pour ainsi dire l'une sur l'autre. Pour opposer le même obstacle par le bas des portes qui ne peuvent toucher le fond ou radier de la chambre dans laquelle elles se meuvent, il est nécessaire d'établir aussi une feuillure contre laquelle s'applique l'entretoise inférieure de chaque porte, et le contact doit être là le plus parfait possible, car c'est là aussi que la pression de l'eau se trouve être à son maximum. Aujourd'hui, on fait cette feuillure en maçonnerie, parce que les radiers des chambres d'écluse sont aussi en maçonnerie, ce qui n'empêche pas de la garnir quelquefois d'une pièce de bois pour obtenir un contact plus parfait; mais jadis le radier de toute l'écluse était en bois, et se trouvait être la continuation du grillage servant aux fondations des bajoyers; il fallait que ce prolongement du radier présentât aux portes la feuillure busquée dans laquelle elles devaient s'appuyer.

Nous donnons, fig. 15, pl. CLXV, le plan, et, fig. 16, une coupe sur une ligne *t v* de l'assemblage nommé busc, dans lequel cette feuillure était établie.

Les parties *m* hachées représentent la projection horizontale des bajoyers en maçonnerie, répondant à une paire de portes, soit de l'amont, soit de l'aval d'une chambre d'écluse.

La pièce *a* est le seuil engagé sous la maçonnerie. C'est dans ce seuil que sont incrustées les crapaudines creuses *k* qui reçoivent celles saillantes qui garnissent les bouts inférieurs des chardonnets. *b* est le poinçon qui est horizontal, *c* sont les buses. Des feuillures doubles, creusées avec précision sur les bords de ces pièces reçoivent les deux épaisseurs des planchers des radiers, et les choses sont disposées comme on peut le voir par la coupe, fig. 16, de telle sorte que le plancher *o*, qui répond à l'intérieur de la chambre des portes, est plus bas que le plancher *n*, qui est au niveau des radiers tant extérieur qu'intérieur de l'écluse, et la différence de niveau est précisément la hauteur de la feuillure formée par le relief du busc et qui donne appui aux portes.

On a construit des bajoyers d'écluses en charpente; nous ne donnons pas d'exemple de ces sortes de bajoyers, parce qu'ils ne sont plus en usage, et que d'ailleurs ils ont quelque ressemblance avec le quai en charpente qui fait objet de l'article VI de ce chapitre.

Les inconvénients qu'on a reconnus aux radiers en charpente on fait abandonner cette méthode; on préfère aujourd'hui les radiers en maçonnerie, mais il était convenable de donner une idée d'un genre de construction qui a été le seul en usage pendant longtemps, et qui se retrouve encore dans les écluses de construction ancienne.

CHAPITRE XLIV.

CHARPENTERIE DES TRAVAUX SOUTERRAINS.

Il arrive fréquemment que les pentes auxquelles les routes sont astreintes, ou les circuits du tracé d'un canal, entraîneraient dans des dépenses d'exécution plus considérables que celle du passage direct au travers d'une montagne, ou même d'un coteau qu'il s'agit de franchir, et l'on se décide à établir un tunnel. Pour soutenir les parois de cette route souterraine, on construit une voûte en maçonnerie, à moins qu'on ne puisse percer le tunnel dans un roc vif et solide.

La place que le tunnel et sa voûte doivent occuper peut être déblayée de trois manières : on peut creuser une tranchée en donnant aux parois les talus suffisants pour que les terres se soutiennent seules; on peut aussi creuser une tranchée entre des parois verticales soutenues par des étrésillons; dans l'un et l'autre cas, on remblaie l'excavation après la construction du tunnel voûté. Enfin, on peut faire un percement souterrain d'une dimension suffisante pour l'établissement du tunnel et de sa voûte. La comparaison des dépenses que doit occasionner l'exécution, dans lesquelles on comprend la fouille, le transport des terres déblayées, et les dégâts de la superficie du sol, les frais de boisage souterrain, détermine celui de ces trois moyens qu'on doit adopter.

Nous avons indiqué, dans le VII^e article du chapitre XXXVI, comment on étaie les parois des déblais à ciel ouvert; nous n'aurons à nous occuper ici que des procédés employés par la charpenterie pour étayer les parois des déblais souterrains pour exploitations, mines militaires et tunnels.

L'origine des travaux souterrains pour exploitations remonte à la plus haute antiquité : plusieurs passages de l'historien Josèphe prouvent que les Orientaux et les Juifs en ont fait usage. Les Grecs et les Romains ont employé les mines dans leurs sièges; mais ce n'est qu'en 1487 qu'un ingénieur génois essaya, sans succès, l'usage de la poudre dans ces sortes de mines, et Pierre de Navarre prit par ce moyen, en 1503, le château de l'Œuf, près de Naples.

Les travaux des mineurs ont été les premiers guides dans l'art des percements souterrains; nous commencerons, en conséquence, par exposer les procédés suivis dans les travaux de mines qui nécessitent le concours de la charpenterie.

I.

MINES.

Les carriers, les mineurs des exploitations de houille et des mines métallurgiques et les mineurs militaires ont été seuls jusqu'ici en possession de l'art d'ouvrir des galeries sous terre pour suivre des directions données par leurs projections sur le sol.

Quelques grands travaux de tunnels et divers accidents arrivés depuis peu d'années dans des creusements de puits et dans des fouilles, prouvent l'utilité de la connaissance de l'art du mineur pour les charpentiers, sous le rapport seul des procédés pour creuser des puits et ouvrir des galeries et des percements souterrains.

§ 1. *Procédés des mineurs du corps du génie.*

Pour descendre dans la profondeur du sol et atteindre le niveau auquel on doit établir une galerie, on creuse un puits; c'est une excavation dont les parois sont verticales.

Le mineur militaire nécessairement exercé aux travaux en bois n'emploie que des pièces équarries au moins à la scie; il commence par établir de niveau sur le sol un cadre dit *cadre à oreilles*, fig. 8, dont les côtés sont assemblés par entailles à mi-bois et tournés sur le sol, de façon que si l'on doit ouvrir une galerie horizontale au fond du puits, elle trouve son entrée sur l'un de ses côtés.

Ce cadre à oreilles étant maintenu solidement par des piquets, le mineur creuse suivant quatre plans verticaux répondant aux quatre faces extérieures du cadre (1). Ce déblai est conduit jusqu'à la profondeur d'un mètre si la solidité des terres le permet, et jusqu'à la profondeur moindre si le terrain est mauvais. Sur le fond de l'excavation, qui doit être de niveau, le mineur pose un cadre sans oreilles, fig. 7, pl. CXLV, dont les côtés sont assemblés à entailles, quelquefois maintenues par deux clous. Le second cadre, comme tous ceux qui doivent être successivement placés à mesure de l'approfondissement du puits, est établi avec précision, de façon que ces côtés répondent verticalement sous ceux du cadre à

(1) Les terres extraites de la mine sont déposées à peu de distance du puits, pour être ensuite enlevées, ou elles sont portées immédiatement dans un lieu de remblai définitif.

oreilles. On insinue entre les parois de ces deux cadres et les parois de l'excavation, des planches verticales jointives, dont la longueur est exactement égale à la profondeur du déblai, compris les épaisseurs des deux cadres.

Les planches touchent immédiatement les côtés du cadre à oreilles; elles y sont maintenues par quelques clous et des coins, ou même par du gazon, dont on garnit le tour de l'orifice du puits en dehors du cadre à oreilles. Ces mêmes planches sont écartées des côtés du cadre inférieur de l'épaisseur d'une planche que l'on remplace provisoirement par des coins en bois, pour serrer les planches contre les terres, réserver la place des planches qui doivent former le revêtement de la seconde tâche et maintenir l'assemblage du cadre.

On soutient le deuxième cadre par quatre tringles en bois, *m*, fig. 7 et 8, clouées par leur bout contre les faces internes des côtés entaillés en dessus, et contre celles du cadre à oreilles. Des traits carrés verticaux sont marqués sur le milieu des faces internes des cadres; ils servent à assurer leur coïncidence, en vérifiant avec le fil à plomb si ces traits sont dans des verticales, depuis le cadre à oreilles jusqu'au fond du puits.

Les choses disposées ainsi, on creuse un nouveau déblai de la même profondeur, et lorsque cette deuxième tâche est faite avec le même soin qu'on a apporté pour l'exécution de la première, on établit au fond du puits un troisième cadre avec la même précision que les précédents, puis on ôte, l'un après l'autre, les coins qui ont servi à réserver les places des nouvelles planches que l'on pose comme les premières, et qui s'appuient en place des coins sur les cotés du deuxième cadre, et sont écartées du côté du cadre posé en dernier lieu, et serrées contre les parois de l'excavation par d'autres coins en bois qui réservent la place nécessaire pour les planches qui boiseront la troisième tâche. Le troisième cadre est attaché au deuxième par quatre tringles verticales.

La fig. 15 est la coupe verticale d'un puits suivant la ligne *m n*, fig. 8.

On voit que, par cette méthode, on peut descendre un puits de mine aussi bas qu'on veut, sans qu'il soit à craindre, si le travail est soigneusement fait, que les terres du haut s'éboulent et combent le travail en ensevelissant le mineur.

Lorsque la profondeur du puits a atteint la profondeur de la deuxième tâche, le mineur ne peut plus jeter les terres à la pelle hors du puits; elles sont alors enlevées avec un panier suspendu à un cordage, et quand la profondeur du puits est trop grande pour enlever à force de bras le panier chargé de déblai, on le monte au moyen d'un treuil établi au-dessus du puits.

La construction des galeries est exécutée par un procédé qui ne diffère

de celui que nous venons de décrire qu'en ce qu'au lieu d'approfondir le déblai verticalement, on le conduit horizontalement, ou suivant une pente donnée, et que les cadres, au lieu d'être horizontaux, sont verticaux, quelle que soit d'ailleurs la direction et la pente de la galerie.

Quant aux planches, elles sont posées horizontalement et de champ sur les côtés de la galerie pour boiser ses murs, et elles sont posées horizontalement et à plat sous le ciel de la galerie : il n'y en a pas sur le sol où marche le mineur.

Des traits carrés sont marqués sur la face inférieure de chaque chapeau, et sur la face supérieure de chaque semelle pour servir de *rameneret*, ou régler et vérifier la direction de la galerie avec un cordeau.

Cette direction est établie dans la mine au moyen de boussole, après qu'on a observé sur le sol supérieur l'angle que doit faire l'aiguille avec l'axe de la galerie.

Lorsqu'une galerie doit être conduite en pente, on se sert d'un niveau de pente, fig. 9, pl. II, pour régler la position de chaque semelle, qui doit toujours être posée de niveau et de dévers.

La fig. 16, pl. CXLIII, est une coupe longitudinale d'une galerie boisée en charpente, et la figure 9, sa coupe transversale : l'une et l'autre coupe sont faites par des plans verticaux.

On distingue dans ces coupes les cadres formés chacun d'un montant *a*, d'un chapeau *b* et d'une semelle *c*. Ces pièces sont assemblées par des entailles seulement, vu que ces cadres ne peuvent pas être placés tout assemblés. Dans chaque cadre, la semelle est placée la première de niveau et de dévers, perpendiculaire à l'axe de la galerie, et son trait de milieu exactement dans cet axe.

Le boilage est formé par des planches *d*, les cadres sont entretenus verticaux par des tringles horizontales *f*.

§ 2. Procédés employés dans les exploitations des mines.

Le travail du mineur des mines d'exploitation diffère peu de celui dont nous venons de faire la description, si ce n'est que le boilage de ces sortes de mines devant avoir une très-longue durée, on y emploie des bois plus forts, et, par économie de travail et de matière, ces bois sont laissés ronds, comme l'exploitation les fournit. Dans des travaux civils nécessités par des accidents, si l'on n'a pas le temps d'équarrir les bois, on peut en user de la même manière. Dans la fig. 13 de la pl. CXLIII, nous avons représenté la coupe verticale d'un puits, pour montrer son boilage en bois ronds et jointifs, comme on l'exécute toujours lorsque le terrain est mauvais.

L'échelle qui sert à descendre dans la mine est figurée clouée contre le boisage.

Les figures 11 et 14 sont les profils de deux galeries boisées : dans l'une, des planches concourent à la composition du boisage ; l'écartement des cadres dépend de la nature du milieu dans lequel la galerie est ouverte : lorsqu'il a quelque solidité, les cadres sont écartés à la distance que le degré de solidité indique ; dans les mauvais terrains, ils sont jointifs.

La figure 10 représente le profil d'un grand filon, dans lequel une sorte de plancher étayé est destiné à soutenir des déblais inutiles.

II.

ÉTAYEMENTS SOUTERRAINS.

§ 1. Percement du canal de Bourgogne.

Nous avons représenté, fig. 3, pl. CXLIII, une coupe, par un plan vertical, du percement souterrain de 4000 mètres de longueur, établi sous le village de Pouilly, et dans lequel passe le canal de Bourgogne.

Le terrain calcaire dans lequel ce percement a été exécuté a peu de solidité ; il a exigé des moyens particuliers pour effectuer ce percement, à cause de sa très-grande largeur.

On a commencé par tracer sur le sol, suivant le développement de la longueur du souterrain, deux lignes qui marquaient la limite de sa largeur. On a creusé des puits approfondis jusqu'au niveau auquel devait correspondre le fond du souterrain, et l'on a poussé des deux côtés du souterrain des galeries dont la forme est distinguée en *A* et *B*, dans la figure, par des hachures formant des teintes foncées.

On a établi également, au moyen de puits, une troisième galerie qui s'élevait jusqu'au niveau où devait se trouver la sommité du déblai. Cette galerie est figurée en *C* par une teinte obscure.

La ténacité du calcaire était suffisante pour que les galeries pussent être percées sans qu'il fût nécessaire de les étayer.

Par ce procédé, on a pu construire les murs *D*, formant les pieds-droits de la voûte, et les étré sillonner au besoin contre le massif de calcaire conservé entre les deux galeries.

Ce même massif a servi à appuyer les étais verticaux *P* destinés à

soutenir la partie supérieure, ou ciel du déblai, pendant que l'on déblayait le calcaire compris entre les deux galeries latérales et la galerie supérieure. Ces déblais ont été effectués par parties, c'est-à-dire qu'on ne les a pas entrepris sur toute l'étendue du souterrain simultanément, mais par portions que l'on se hâta de voûter, pour que les étais pussent servir dans d'autres parties.

Dès qu'un déblai était complet, les charpentiers posaient les cintres, et appuyaient dessus les étais plus courts, toujours dans la vue de soutenir le ciel jusqu'à ce que la voûte et son remplissage d'extrados fussent achevés et pussent suffire au soutien du terrain calcaire dans lequel le tunnel se trouvait percé.

§ 2. *Perçement du tunnel de la Medway.*

La figure 12, pl. CXLIII, est un profil qui représente le déblai souterrain pour le tunnel du canal de la Medway, en Angleterre. Ce travail a été exécuté de la même manière que celui dont nous venons de parler. Deux massifs ont été conservés dans le déblai pour appuyer les étais du ciel, et ensuite les cintres en charpente qui ont servi à construire la partie supérieure de la voûte. Nous avons déjà eu occasion de parler de ces cintres, page 490, au sujet de l'emploi du fer dans cette sorte de construction.

CHAPITRE XLV.

CHARPENTERIE DE MARINE.

I.

CHARPENTERIE NAVALE.

§ 1. *Système de construction.*

Pendant longtemps, sans doute, les mêmes artisans qui bâtissaient les cabanes sur les rivages de la mer et des fleuves, construisaient aussi les frêles barques qui servaient à la pêche et à de courtes navigations; mais l'accroissement du nombre et de la grandeur des embarcations, par suite de l'extension des voyages, et des relations plus multipliées entre des rives éloignées, a dû déterminer quelques charpentiers à se livrer uniquement à la charpenterie de navigation.

C'est à leur pratique et à leur lente et longue expérience que l'on a dû la création et les progrès d'un art que les mathématiques et la physique ont changé, depuis deux ou trois siècles seulement, en une science qui nécessite aujourd'hui des ingénieurs spéciaux pour la cultiver, la pousser vers de nouveaux progrès, et l'appliquer à la construction des grands navires.

L'État a ses ingénieurs-constructeurs (1) : la marine marchande n'est point restée en arrière; les maîtres charpentiers qui travaillent pour elle ont pris aussi le titre de constructeurs des navires du commerce, titre dont des hommes d'un mérite distingué ont soutenu et accru la juste réputation.

La construction des vaisseaux et navires de toutes espèces constitue donc maintenant une science qu'on désigne sous le nom d'architecture navale; elle peut être considérée, par rapport à la charpenterie de marine, comme l'architecture civile, qui crée nos édifices publics et particuliers, par rapport à la charpenterie des combles et des planchers, avec

(1) Le corps des ingénieurs-constructeurs de la marine a été créé en 1765.

Il fut d'abord composé des plus habiles maîtres charpentiers, constructeurs des vaisseaux du Roi : institué d'abord sous ce titre, par ordonnance du 15 avril 1689, en récompense des progrès qu'ils avaient fait faire à l'art des constructions de cette époque, aujourd'hui ce corps se compose d'ingénieurs sortis de l'école célèbre qui fournit à tous les corps savants employés par l'État.

cette différence, cependant, que dans l'architecture navale, tout est charpenterie, tandis que dans nos édifices, la plupart du temps, le bois n'en fait qu'une petite partie. Aussi, la partie manuelle de la charpenterie de marine se trouve tellement liée à la science de la construction des navires, qu'on ne pourrait en faire un traité séparé, si ce n'est pour quelques détails d'exécution qui diffèrent peu des procédés de la charpenterie ordinaire, et que nous avons déjà décrits en partie, en parlant des assemblages.

Quant à l'art de cette charpenterie navale, sous le rapport des formes résultant des conditions auxquelles les navires sont tenus de satisfaire, à cause de leur destination, elle comporte un développement tel, qu'il faudrait un ouvrage spécial et volumineux, que les limites d'un de nos chapitres ne peuvent comporter. Nous nous bornerons donc à signaler les différences les plus marquantes résultant de sa comparaison à la charpenterie civile, notre but n'étant point de former ni d'instruire des charpentiers de marine, mais seulement de donner aux charpentiers qui n'ont point eu occasion de travailler dans les ports, une idée de la combinaison des bois dans la construction d'un navire, et des procédés suivis pour le bâtir.

Nous avons déjà eu occasion de faire remarquer qu'il y avait à Rome un quartier qui tirait son nom de la ressemblance des toits des maisons avec la carène d'un vaisseau renversé; cette ressemblance vient de la courbure des surfaces de ces toits, et surtout de ce que, quel que soit le but d'une construction en charpente, le système d'édification ne peut être que le même, précisément à cause de la forme des matériaux que la charpenterie met en œuvre.

Ainsi, l'on remarque que les courbes symétriques qui dessinent la forme d'un vaisseau, forment, avec les pièces transversales qui les lient et qui soutiennent les ponts, de véritables maîtresses fermes, comme celles d'un comble, et, en définitive, quel que soit un édifice, fixe ou flottant, ce sont toujours des pans de charpente qui le constituent et lui donnent la stabilité de formes; toute la différence est que, dans la construction des vaisseaux, le charpentier de marine commence l'ouvrage par où le charpentier de maison le termine, et les moyens de jonction des bois diffèrent par suite des fonctions tout à fait opposées que les pièces homologues ont à remplir. Ainsi, dans la charpenterie de marine, on n'emploie ni tenons ni mortaises; tous les assemblages sont faits par entailles, et les entes par écarts, parce que les tenons ne résisteraient point aux efforts de flexion et de torsion que les mouvements d'un navire leur feraient éprouver : la solidité que la charpenterie civile tire de ses assemblages, et du croisement et du moisement des pièces, est forcément

remplacée, dans la construction d'un navire, par une profusion de chevilles et de clous, qui ne peut manquer d'étonner, plus encore peut-être par la solidité qu'on en obtient, que par leur nombre, quoiqu'ils ne garantissent pas toujours les navires d'avaries, souvent funestes aux navigateurs.

La différence de destination change aussi le sens dans lequel les pièces qui entrent dans la composition des fermes, ont à résister. Ainsi, par exemple, les *baux* ou *barrots*, c'est-à-dire les poutres qui composent la charpente des ponts ou planchers des différents étages d'un navire, ne fonctionnent pas de la même manière que les tirants et entrails des fermes d'un comble. Ceux-ci s'opposent à la poussée et à l'écartement des pans des toits; les baux des navires, au contraire, s'opposent à un mouvement inverse qui, sans eux, serait occasionné par la pression de l'eau qui environne la surface extérieure du navire qui s'y trouve à flot. De là vient la différence du mode de jonction des baux dans les parois d'un navire, et des entrails avec les parois des toits. Il en est de même d'une foule d'autres pièces.

Nous donnons, fig. 1, pl. CXLVI, la projection verticale d'un vaisseau, suivant sa longueur.

a est la quille, *c* est l'étambot, *bd* l'étrave. On a donné le nom de *marsouins* aux courbes qui lient l'étambot et l'étrave à la contre-quille et à la carlingue. *k*, emplacement de la figure dont on décore l'avant d'un navire; *e*, *éperon*; *g*, *taille-mer*; *f*, *précinctes*; *n*, *sabords*; *m*, *mâts*.

La figure 3 est la coupe transversale d'un navire par un plan vertical répondant à son *fort*, c'est-à-dire là où il a sa plus grande largeur, vers le milieu de sa longueur *au droit* de son *maître couple*.

Cette coupe est faite sur une échelle double.

a, *quille*; *a'* *contre-quille*; *h*, *carlingue*; *b*, *varangue*; les *talonniers* sont des fourrures que l'on ajoute sous les varangues lorsqu'elles manquent d'épaisseur, à cause de leur grande courbure occasionnée par les façons du navire; les *oreillers* sont ajoutés aux varangues pour réunir leurs parties quand on est forcé de les faire de deux pièces; on donne le nom de *fourcats* aux varangues fourchues en forme de Y assemblées parallèlement aux autres varangues vers les extrémités du navire; on emploie aussi des fourcats horizontaux, dans le même but que les guirlandes; *c*, *genoux*; *d*, *allonges*; *e*, *bordages*; *f*, *précinctes*; *g*, *vaigrage*: les *quirlandes* sont des pièces courbes et horizontales chevillées sur le vaigrage, qui lient intérieurement les côtés de l'avant d'un navire dans la hauteur de l'étrave sous les ponts; *k*, *baux* ou poutres des ponts; *i*, *serres-bauquières* sur lesquelles sont assemblés les baux; *j*, *bordages* des ponts; *o*, *hiloires* entaillées sur les baux d'un bout à l'autre du na-

vire; les écoutilles, qui sont des ouvertures pour pénétrer dans l'intérieur du navire, sont percées sur les ponts entre les hiloires du milieu; *m*, courbes ou coudes; *n*, porques, courbes intérieures répondant aux courbes de levée, et chevillées sur elles au-dessus du vaigrage; *q*, varangues de porques; *r*, épontilles; *p*, bittes; *s*, traversin fixé aux bittes et servant à attacher les câbles des manœuvres; *r*, épontilles servant à supporter les baux; *t*, hiloire renversée.

§ 2. Épure et tracé de la salle.

Le projet d'un vaisseau est fait comme celui de tout autre édifice : il se compose de plans dessinés sur papier, de mémoires et de devis.

Le devis comprend l'énumération des dimensions générales du navire, celles des différents détails, et celle de toutes les pièces de bois qui entrent dans la composition de sa charpente.

Les plans ou dessins d'un navire servent à étudier et à représenter les formes à donner à sa coque, pour qu'elle ait toutes les qualités qu'on exige d'un bon navire, soit pour la *marche*, la *manœuvre* ou la *charge*, selon le service pour lequel il est construit.

Ces dessins se composent : 1° d'un *plan d'élevation*, comme notre figure 1, pl. CXLVI, c'est une projection verticale du navire vu suivant sa longueur, avec l'indication de tout ce qui se trouve à sa surface, et même avec le tracé ponctué de quelques projections de sa charpente; la ferme longitudinale, composée de sa quille *a*, de l'étrambot *c* et de l'étrave *bd*, avec les différentes pièces qui en font partie.

La fig. 4 est aussi un plan d'élevation; mais elle ne présente aucun détail;

2° D'un *plan de projection*, comme celui fig. 2, sur lequel sont marquées les courbes résultant des sections transversales dans la surface extérieure du navire, par des plans verticaux passant par les places *m n*, *m' n'*, que doivent occuper les principaux couples ou fermes de la charpente, fig. 4 et 5;

3° Du *plan horizontal*, comme celui fig. 5; c'est une projection horizontale, vue par le dessous de la coque, pour la partie de la carène qui se trouve au-dessous de la surface de l'eau, et vue par le dessus, pour la partie qui est au-dessus.

Les courbes résultant des sections faites dans la surface du navire, par deux suites de plans, se trouvent seules projetées sur les fig. 2, 4, 5.

Lorsque les plans sont terminés, et qu'il s'agit de mettre en chantier, c'est-à-dire de construire, on fait ce que les constructeurs appellent le *tracé à la salle*. C'est, à proprement parler, ce que jusqu'ici nous avons

appelé *l'ételon*. Ce tracé est exécuté sur le plancher, parfaitement de niveau et uni, d'une longue salle assez spacieuse pour que le plan entier en projection horizontale et le plan de projection des coupes transversales puissent y être tracés de grandeur naturelle.

Le niveau et la régularité du plancher sur lequel on fait le tracé n'est pas exigé pour les ételons des charpentes dans lesquels il n'y a à tracer que des projections de lignes droites; mais le tracé à la salle d'un navire, ne devant présenter que des courbes, il est indispensable qu'il soit exactement de niveau et uni, pour que les courbes ne soient point altérées dans leurs projections, et qu'on puisse en relever les *gabarits*, dont nous parlerons plus loin.

Le tracé à la salle est une épure descriptive du contour de la surface dans laquelle se trouve les faces extérieures des couples de levée qui reçoivent l'application des bordages.

La première partie du *tracé à la salle* que l'on construit est le plan de projection, fig. 2, pl. CXLVI, sur lequel sont tracés les contours extérieurs des principaux couples, et qui marquent la forme de la coque d'après le mode de génération adopté pour sa surface.

La carcasse en charpente d'un navire dépouillé des bordages qui composent sa surface extérieure peut, en quelque sorte, être comparée au squelette d'un animal vertébré couché sur le dos; les couples qui embrassent sa capacité sont attachées à la quille comme les côtes de l'animal à son épine dorsale.

Chaque couple de levée est un assemblage d'un *double-tour* ou de deux épaisseurs de pièces courbes planes jointes bout à bout, chevillées l'une sur l'autre, et dont chacune recouvre de la moitié de sa longueur celle qui lui est accouplée, c'est-à-dire à *plein sur joints*. Ainsi, fig. 1, le genou *c* recouvre de la moitié de sa longueur la varangue *b* et la première allonge *d*; cette première allonge recouvre de même de la moitié de sa longueur la deuxième allonge *d'*.

Les traces des plans qui séparent les deux épaisseurs de chaque couple et qui sont des plans de joints, ont pour traces verticales les lignes *m n*, fig. 4, et pour traces horizontales leurs prolongements *m' n'*, fig. 5, perpendiculaires à l'axe de la quille.

Les sections ou coupes faites par ces plans, dans la surface intérieure des bordages, donnent les contours extérieurs des couples de levée qui reçoivent ces bordages d'après les formes adoptées pour le navire; elles sont un moyen de représentation de ces formes; elles servent même à la déterminer par des opérations géométriques, et souvent d'après des résultats de calculs dans lesquels l'ingénieur-constructeur a fait entrer les conditions auxquelles ces formes doivent satisfaire.

Ces sections ou coupes sont toutes projetées sur le plan de projection, fig. 2, au niveau qu'elles occupent dans le bâtiment; la ligne d'eau $B B'$ est leur repère commun. C'est, au surplus, sur ce plan de projection qu'elles sont construites.

Ces courbes sont liées entre elles par une relation qui dépend de la surface qu'elles représentent, ou plutôt c'est de cette relation dont on a établi convenablement la loi que résultent la *bonne façon* de la carène du bâtiment.

La détermination de la forme du navire a pour base première le contour du maître couple, que chaque constructeur trace suivant ses vues particulières et la proportion qu'il veut donner au navire.

Soit la ligne verticale $A O$, fig. 2, pour représenter sur le plan du *tracé à la salle* la trace du plan vertical qui passe par l'axe de la quille, et qui partage le bâtiment de l'arrière à l'avant en deux moitiés exactement égales et symétriques; c'est la *ligne de milieu*. On trace les horizontales ci-après, savoir :

B, B' , *ligne de flottaison*, trace verticale de la surface de l'eau servant de plan de repère.

$h h'$, niveau de la hauteur du pont au-dessus de la flottaison.

$k k'$, hauteur d'un second pont.

r, r' , niveau du dessous de la quille.

$v v'$, *ligne d'acculement* ou d'abaissement de la *maîtresse varangue* dans la quille : cette ligne répond au bord supérieur de la *rablure* (1).

z, z' marque le niveau de la *ligne du relèvement* des varangues.

l, l' , *ligne du plat des varangues*.

$p p'$, hauteur du plat-bord.

Après avoir porté la demi-largeur que doit avoir le bâtiment dans *son fort*, de A en q et q' , et de O en r et r' , et tracé les verticales $q r, q' r'$, le contour du maître couple est tracé par les courbes $x y u w o h i j, x' y' u' w' o' h' i' j'$ égales et symétriques, composées d'arcs de cercle qui se raccordent tangentiellement. Chaque constructeur modifie le tracé de ce contour suivant ses vues particulières et les qualités qu'il veut donner au navire.

Une seconde courbe sur le plan de projection est nécessaire pour fixer la loi de génération de la surface du navire, et comme la forme de cette surface n'est pas la même du maître couple à l'étambot, et du maître couple à l'étrave, chaque partie a sa seconde courbe directrice particulière.

Celle qui sert de directrice pour la génération de la surface de l'arrière, est le contour du couple de l'arrière du bâtiment; ce couple se nomme

(1) La *rablure* est une rainure ou feuillure creusée sur toute la longueur de la quille, sur l'étambot et sur l'étrave, pour recevoir les bouts des bordages qui y sont cloués.

estaims. Il s'assemble sur un des points de la hauteur de l'étambot en d , sur la ligne ae , qui en marque l'épaisseur et forme avec lui un plan de charpente qui ressemble à une arbalète renversée, dont la corde est représentée par la lisse d'hourdie gm qui croise à entaille l'étambot. La longueur de cette lisse et la hauteur à laquelle elle est placée sur l'étambot, donnent la position de la verticale fn , et la largeur du fort de l'estaims; les *allonges* gb qui en forment la partie supérieure sont les *cornières*.

Attendu qu'il y a symétrie parfaite des deux côtés du plan vertical dont la ligne AO est la trace, on se contente de tracer les contours par moitié: ainsi, sur la gauche du plan de projection, fig. 2, on trace les couples de l'arrière du bâtiment compris entre le maître couple et l'estaims sur la droite, on trace ceux de l'avant entre le maître couple et l'étrave.

Chaque constructeur trace par des arcs de cercle, qui se raccordent, le contour de l'estaims bgd , après avoir fixé son point d'assemblage d avec l'étambot et la position de la lisse d'hourdie gm , la courbe de l'estaims devant être tangente en g à la verticale fn , dont la position varie à la volonté du constructeur.

Les courbes qui marquent les contours extérieurs des couples intermédiaires, distribuées à des distances égales, fig. 4 et 5, entre le maître couple et l'estaims, peuvent être déterminées par différentes lois qui les font cependant dépendre des formes de ces deux couples directeurs; chaque constructeur peut adopter la loi qui lui paraît le mieux remplir ses vues, à l'égard de la forme du bâtiment qui doit en résulter.

Mais quelle que soit cette loi, il faut nécessairement que les courbures des couples participent de celles du maître couple et de celles de l'estaims, et d'autant plus de celles du maître couple que les couples intermédiaires en sont plus rapprochés. Les projections des espaces qui doivent séparer les couples intermédiaires doivent être aussi d'autant plus étroites, fig. 2, que ces couples se trouvent sur une partie de la surface du navire qui approche le plus d'être perpendiculaire à cette surface; or, cette perpendicularité ayant lieu précisément dans le maître couple, les écartements des projections des courbes qui dessinent les contours des couples doivent nécessairement être d'autant plus rapprochés qu'elles sont plus près des maîtres couples et plus éloignées de l'estaims.

La loi le plus fréquemment employée est celle qui est indiquée par la suite des nombres impairs; elle est marquée sur le plan de projection, fig. 2, comme il suit :

Soit gh la projection d'une lisse (1) répondant au fort du maître couple

(1) Les lisses sont des règles en bois, pliantes et bien dressés, que l'on applique de distance en distance dans la hauteur du bâtiment, sur les couples, pour les maintenir

et à celui de l'estaims; du , la projection de la *lisse basse* ou *lisse des façons* du navire.

Entre ces deux lignes, on distribue d'autres lisses intermédiaires comme celles sw , to , etc., qui répondent à des points de division, en parties égales du développement des courbes hu , gd .

Les lignes gh , to , sw , du , qui représentent des lisses, peuvent être regardées comme les traces verticales des plans qui contiennent les lignes de milieu de ces lisses embrassant les surfaces des couples sur lesquelles elles sont supposées tracées; ces lignes des lisses représentent les lisses en bois appliquées provisoirement sur la charpente du navire pour maintenir les couples de levée.

Pour marquer les points dans lesquels ces lisses sont rencontrées par les courbes des contours des couples, on divise chaque lisse, entre le maître couple et l'estaims, en parties qui doivent être entre elles comme les nombres impairs 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, suivant le nombre des couples.

Pour obtenir ces divisions sans tâtonnements, et abrégé la construction du plan de projection, on se sert de la propriété des triangles semblables appliquée à un triangle équilatéral (1).

Lorsque les points de division sont marqués, on fait passer chaque courbe d'un couple par les points de même numéro qui marquent aussi son rang à partir du maître-couple. On trouve ces courbes à la main, si l'on a une grande habitude du dessin, et, dans le cas contraire, avec le secours d'une règle flexible (2).

dans leurs positions pendant la construction, et en attendant que l'on pose les préceintes et les autres bordages.

(1) Sur une ligne AB , fig. 7, on porte des parties 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, etc., qui sont entre elles comme les nombres 1, 3, 5, 7, 9, etc.; la grandeur de la première partie 0-1 doit être telle que la somme de toutes les parties de 0 à 10 soit plus grande que la plus longue des lisses à diviser suivant cette loi. Sur la ligne AB on construit un triangle équilatéral 0- C -10, et du point C on trace les rayons $C-1$, $C-2$, $C-3$, $C-4$, $C-5$, etc.

Pour obtenir par ce triangle la division d'une lisse dans les proportions dont il s'agit, il suffit de porter de C en O' et en $10'$ la longueur de cette lisse, de celles sw par exemple, et de tracer la ligne $O'-10'$ parallèle à la base, elle est égale à cette même lisse. Les points 1', 2', 3', 4', 5', dans lesquels cette ligne est rencontrée par les rayons, sont les points de division cherchés que l'on rapporte au plan de projection sur la lisse à laquelle ils appartiennent, soit sur celle sw que nous avons prise pour exemple, en les relevant du triangle, fig. 6, sur une règle mince ou sur une bande de papier ou de cartons s'il s'agit d'un dessin en papier, que l'on applique le long de cette lisse pour y marquer ces points.

(2) Les règles flexibles étant très-commodes et très-utiles pour tracer les courbes dont on fait un grand usage dans les diverses parties de l'art de la charpenterie, nous indiquons ici comment on en fait usage.

La plus simple de ces règles flexibles est d'une épaisseur égale d'un bout à l'autre; on la courbe au moyen d'une corde, comme on fait pour un arc, ou en appuyant ses extrémités contre deux chevilles plantées dans une grosse règle qui fait office de tirant, et qui est percée de plusieurs trous pour changer, suivant le besoin, l'écartement des chevilles

On suit une méthode analogue pour tracer les courbes de couples de l'avant du navire sur la droite de la fig. 2; les lisses de l'avant passent sur le maître couple, aux mêmes points que les lisses de l'arrière. Après avoir marqué l'épaisseur de l'étrave par la ligne verticale $a' e'$, le constructeur distribue sur cette ligne les points où doivent aboutir les lisses, en les relevant d'une quantité constante. Les longueurs de ces lisses, comptées depuis l'étrave jusqu'au maître couple, sont divisées dans les mêmes rapports des nombres impairs, au moyen du même triangle, et les contours des couples de l'avant se trouvent participer du contour du maître couple et du contour de l'étrave $b d$, fig. 4, qui est un arc de cercle, et qui se trouve projeté sur la ligne droite $a' e'$ sur le plan de projection, fig. 2.

Pour compléter la description de la forme d'un navire, on trace sur le plan de projection verticale, fig. 4, et sur le plan de projection horizontale, fig. 5, les courbes ou sections tracées par les lisses sur la surface du vaisseau, ou plutôt sur celles des couples qui reçoivent les bordages. On trace aussi les courbes résultant de sections faites par une suite de plans horizontaux équidistants ou passant par les points dans lesquels les lisses rencontrent le maître-couple.

Les traces de ces plans horizontaux, sur le plan de projection et sur le plan de l'élévation, par les horizontales $y y'$, $u u'$, $w w'$, $o o'$, pour la partie de la coque du navire qui est inférieure à la ligne d'eau $B B'$; et par les horizontales $h h'$, $i i'$, $j j'$, pour la partie qui est supérieure à la même ligne $B B'$. On donne à ces horizontales le nom de *lignes d'eau*.

Afin d'éviter la confusion, et vu la symétrie des deux bords du bâtiment, on met en projection d'un côté $e h e$ de la quille, fig. 5, les lignes d'eau ou courbes horizontales inférieures à la ligne d'eau $B B'$ qui est le véritable

On peut aussi fixer la longueur de la corde de l'arc, par une boîte glissant le long de la grosse règle et arrêtée par une vis.

En faisant amincir la règle plus à une extrémité qu'à l'autre, sa courbure n'est pas symétrique; elle est plus grande au bout le plus mince, et cette règle peut être ajustée pour tracer des lignes d'une courbure variée.

Lorsqu'on fait usage d'une règle de cette sorte pour tracer une courbe qui a une grande étendue, on se fait aider pour la maintenir pendant que l'on trace la courbe, ou bien on la maintient de champ par de longues pointes en fer clouées dans le plancher sur lequel on trace, et contre lequel on l'appuie; on peut encore faire usage de poids très-pesant et cylindriques pour appuyer une règle mince, et lui faire prendre la courbure dont on a besoin.

On se sert enfin, mais seulement pour la construction du dessin, d'un instrument à tracer des courbes, qui est composé d'une règle mince en acier de ressort ou de lame de scie, à laquelle on fait prendre momentanément la courbure requise au moyen de longues tiges à vis ou à pression, qui forment les ordonnées de la courbe, et dont la position peut varier le long d'une règle qui fait l'office de ligne des abscisses.

niveau de l'eau autour du vaisseau à flot; de l'autre côté *e' h' e'* de la quille, on met en projection les courbes horizontales qui sont dans des plans supérieurs.

Nous ne donnons point de description détaillée de l'opération qui a pour objet de mettre en projection horizontale et en projection verticale les lignes d'eau et les lisses; c'est une opération d'épure de géométrie descriptive, puisqu'il ne s'agit que de rapporter sur les traces *m n, m' n'* des couples, fig. 4 et 5, les distances des points à la ligne de la quille ou à la ligne de milieu prises sur le plan de projection, fig. 2.

On trace quelquefois aussi sur ces mêmes projections, les courbes des lisses comme sur la figure 4, et du côté *e' h' e'*, fig. 5, comme moyen de compléter les représentations du navire; mais ces projections ne sont point nécessaires à la construction, tandis que les *lisses* réelles sont indispensables, non-seulement pour maintenir les couples de levée, mais aussi pour former comme le moule du navire qui sert à donner les contours des couples intermédiaires que l'on intercale entre les couples principales gabariées d'après le tracé du plan de projection, et que l'on représente seules dans les différents dessins et tracés d'un navire.

Nous n'entrerons point dans la description d'une foule d'autres détails qui tiennent à l'architecture navale, il est suffisant pour notre but d'avoir donné une idée de la manière dont on procède pour faire le projet, les épures et les tracés nécessaires pour la construction d'un navire.

Nous ferons remarquer ici une nouvelle différence qui existe entre l'art du charpentier civil et l'art du charpentier de navire. Ce dernier ne fait point usage du tracé à la salle comme d'un ételon, il n'y établit aucune pièce sur lignes, il ne pique aucun bois pour tracer les assemblages; le tracé à la salle n'a pour but que la construction des gabarits ou patrons, au moyen desquels les pièces de bois qui sont presque toutes courbes sont tracées hors de la salle, sur le chantier, sur la cale ou sous les hangars de travail. Les pièces ne sont présentées sur le tracé à la salle que lorsque, étant gabariées et assemblées, on veut vérifier si elles ont effectivement les contours qui devaient leur être donnés.

§ 3. *Constructions sur la cale.*

Les navires sont construits sur des cales, et pour qu'ils puissent être mis à l'eau, ces cales ont une pente suffisante vers la mer. Une cale est donc un plan incliné en charpente, solidement fondé, près d'une plage, et d'où le bâtiment peut descendre à la mer assez profondément, en glissant dès qu'on a

enlevé les étais et autres obstacles à son mouvement qui l'ont retenu pendant sa construction.

La première pièce qui est établie sur la cale est la quille *a*, fig. 3, pl. CXLVI. C'est une longue pièce droite, et des dimensions les plus fortes, qui sont au surplus réglées par le devis. Elle répond au faitage d'un toit qui serait renversé sens dessus dessous : mais ici elle forme la véritable fondation de l'édifice, elle le porte tout entier tant qu'il est sur cale, elle forme la couture ou jonction des deux flancs du navire. La quille répond au milieu de la cale et suit sa ligne de plus grande pente qui coïncide avec son axe. Elle repose sur des *tins* ou chantiers de 30 à 40 centimètres, écartés de 1^m,30 à 2 mètres. Les surfaces supérieures des tins sont dans un seul plan bien exactement parallèle à celui de la cale.

Ces tins sont quelquefois composés de plusieurs pièces fixées solidement les unes sur les autres, ainsi que sur la cale, par de longs clous chassés obliquement dans leurs faces.

On n'a point, du moins en Europe, de bois assez longs pour former la quille d'un navire d'une seule pièce; on la compose de plusieurs pièces *écarvées*, c'est-à-dire entées par écarts et assujetties entre elles au moyen de chevilles de métal et de clous. La dernière pièce de la quille, le *brion b*, fig. 4, se prolonge en courbe pour se joindre à l'étrave *b d*, qui est la continuation de sa courbure et termine le navire du côté de la *proue*; le *brion* et l'*étrave* sont travaillés avant d'être établis sur la cale.

Avant d'établir la quille, on a creusé des deux côtés la *rabture*.

La quille *a* est assemblée avec l'étambot *c* à tenon et mortaise, et l'assemblage est consolidé par une courbe *d*, nommée *marsouin*, fig. 4, souvent composée de plusieurs pièces assemblées, par superposition, à écarts et chevillées.

Au-dessus de la quille, on établit la contre-quille *a* qui est une pièce équarrie composée de plusieurs pièces assemblées par écart comme la quille, et ses joints répondent sur les milieux des pièces de la quille; la totalité de la contre-quille est fixée sur la quille par des chevilles qui les traversent toutes deux. C'est dans la contre-quille que sont entaillés les *margouillots* ou entaillés dans lesquels sont reçues celles des varanges *b* qui servent de base aux courbes *b* qui forment les couples de levée.

La plupart des pièces qui composent la membrure d'un navire, s'établissent tout assemblées sur la quille, notamment l'étrave avec la contre-étrave, l'étambot avec l'estaims et la lisse d'hourdie, au moyen de deux bigues ou petits mâts équipés par un lien appelé portugaise, fig. 6, pl. CLV.

Les couples de levée, composés chacun d'une varange, ou d'un *fourcat*, des genoux et des premières allonges *c* formant des contours symétriques des deux côtés de l'axe vertical, sont également levés et montés tout as-

semblés sur la quille, leurs écartements étant retenus par des *traverses* en planches dites *traverses d'ouvertures*; lorsqu'ils sont assemblés en croix sur la quille, on les entretient verticaux et à leurs distances par des lisses dont nous avons déjà parlé.

Les couples ont reçu leur équerrage, c'est-à-dire le biais de leurs surfaces suivant les places qu'ils occupent, lorsqu'on les a assemblés sur le chantier. Cet équerrage ou biais se relève avec une équerre sur un plan horizontal et sur les courbes des lignes d'eau, rapportées à leur hauteur sur les couples.

Lorsque tous les couples sont levés, on vérifie s'ils sont bien perpendiculaires à la quille, s'ils ont leurs branches bien symétriquement étendues à l'égard du plan vertical passant par l'axe de la quille. Cette vérification se fait au moyen de cordeaux établis de niveau d'un gabariage à l'autre, dans chaque couple, et d'un autre cordeau tendu dans la longueur du bâtiment et dans le plan de son axe, d'un fil à plomb et d'un grand compas à verge. Les corrections sont faites en forçant ou larguant les accores qui étaient les couples, jusqu'à ce que la régularité la plus parfaite soit établie partout; cette opération se nomme *perpigner*.

Une autre vérification reste à faire; c'est celle de l'accord de tous les membres du navire, pour que sa surface extérieure devant résulter de l'application du bordage soit régulière. Cette vérification se fait par le moyen d'un cordeau dont on enveloppe tous les couples de levée de l'arrière à l'avant; on s'assure par la régularité de sa courbure de la continuité de celle de la surface qui enveloppe les couples, et suivant laquelle ils doivent recevoir des bordages; on vérifie par le même moyen si les contours des couples ont reçu au chantier leur équerrage, pour que les bordages puissent s'y appliquer en portant exactement sur toute leur largeur, sans laisser aucun vide. Cette opération, que l'on répète à différentes hauteurs de la carène, met en évidence le moindre défaut que l'on répare en parant extérieurement et intérieurement toute la membrure, avant d'y appliquer le bordage et le vaigrage.

Pour les bâtiments de guerre, on remplit les intervalles entre les couples principaux par d'autres couples qui sont façonnés sur place, pour s'accorder avec les couples principaux.

Lorsque la carcasse en charpente de la coque d'un navire est ainsi formée, on procède à l'établissement des pièces qui assurent la solidité de tout le système. Une des principales est la *carlingue h*; c'est une pièce droite équarrie et parallèle à la quille, sur laquelle elle assujettit tous les membres en les recouvrant, et elle consolide aussi la cale en liant la proue à l'arcasse, qui répond à la poupe en s'écarvant avec les *marsoins*.

Elle est de deux pièces juxtaposées, établies de manière que les joints

de l'une répondent au milieu de la longueur de l'autre; ces deux pièces sont liées par des goujons horizontaux en fer qui les traversent.

La carlingue est attachée à la quille par des chevilles en fer qui la traversent et qui traversent les varangues, pour pénétrer dans la quille jusqu'à 8 centimètres de sa surface inférieure. Lorsqu'on est forcé de faire les varangues de deux pièces, elles sont assemblées à bout et à plat joint sur la quille, et réunies par des *oreillers* qui sont quelquefois entaillés sur la demi-varangue, et qui y sont chevillés par des goujons en fer.

Ces oreillers sont alors traversés par les chevilles de la carlingue qui les croisent comme les varangues.

Les ponts *k* partagent la capacité intérieure d'un navire en étages, comme les planchers partagent la hauteur de nos maisons; les ponts des bâtiments sont convexes en dessus pour donner de l'écoulement aux eaux qui peuvent y tomber, et pour qu'en cas d'affaissement ces ponts ne puissent jamais devenir creux en dessus.

Les poutres qui supportent les planches des ponts d'un navire sont appelées *baux* ou *barrots* par les marins. Nous les avons déjà comparées aux entrants et tirants des fermes employées dans les combles, en faisant remarquer que, dans la construction d'un navire, ils ont pour objet moins de retenir ses flancs, si quelque cause tendait à les écarter, que de les empêcher de se rapprocher par l'effet de la pression de l'eau.

Les extrémités des baux ne peuvent former aucune saillie au dehors du navire, ils portent dans l'intérieur sur un bordage épais *i* appelé *serre-bauquière* (1), fixé aux membres comme le vaigrage.

Les baux des grands navires ne peuvent être d'une seule pièce, ils sont formés de poutres assemblées en armatures; leur surface supérieure est gabariée suivant un arc d'ellipse qui a la même courbure ou *tonture* pour tous les baux d'un bout à l'autre du navire, de telle sorte que le dessus du pont, c'est-à-dire le plancher ou *tillac*, est une surface cylindrique dont les génératrices sont parallèles à la longueur du vaisseau.

Cet arc appartient à une ellipse qui a pour grand axe horizontal la plus grande largeur du pont le plus large, et pour demi-petit axe vertical le bombement qu'on veut donner au pont. La surface du plancher du pont étant cylindrique, tous les axes verticaux des ellipses sont dans le plan vertical de l'axe de la quille, et tous leurs axes horizontaux sont dans un plan parallèle à la quille. On se contente souvent d'un arc de cercle dont la corde et la flèche sont égales aux axes de l'ellipse. On détermine la trace de ce plan sur les faces internes de tous les membres par le moyen

(1) On appelle généralement *serre*, un cours de bordages; par *serre-bauquière* on désigne celui qui porte les baux.

de cordeaux convenablement établis dans ce même plan et bien tendus, que l'on bornoie pour marquer les traces du plan sur les faces intérieures des couples.

Ces traces donnent la courbure que la *serre-bauquière* doit suivre; leur écartement d'un bord à l'autre donne la longueur des baux correspondants.

Les baux sont disposés de l'arrière à l'avant, en ayant égard aux emplacements des écoutilles et des mâts; ils sont assemblés à queue d'hironde par chaque bout sur les *serre-bauquières*, comme on assemble quelquefois des tirants sur les sablières. Cependant, ces queues d'hironde pourraient ne pas suffire à la solidité du navire; on consolide chaque assemblage par une courbe ou coude en bois *m* dont une branche est chevillée sur le vaigrage et l'autre branche sur la face verticale du bau. Cet assemblage est meilleur quand la branche verticale est chevillée dans la membrure correspondante au travers du vaigrage. et dans la surface du dessous du bau; à ces courbes en bois on substitue souvent des espèces d'équerres en fer qui forment un triangle ayant une barre qui réunit les deux branches.

Les ponts les plus bas sont ceux qu'on établit les premiers.

L'intérieur du bâtiment est revêtu de bordages *g*, appelés *vaigres*, qui lient les membres en dedans, comme ils sont liés au dehors par les bordages et préceintes; le *vaigrage* forme les parois intérieures du bâtiment.

Les virures, ou cours de vaigres, c'est-à-dire les vaigres réduits aux largeurs et préceintes qu'ils doivent avoir, sont fixées sur les membres par des clous et des chevilles; les virures les plus basses sont posées les premières, les lisses intérieures sont enlevées à mesure que le vaigrage s'élève.

Quelques constructeurs ont conseillé de poser les vaigres inclinés à 45°, en les entaillant sur les membres, de façon à consolider davantage le navire.

Les vaisseaux de guerre sont, en outre des vaigrages et des couples de remplissage, fortifiés par des membres *n* intérieurs au vaigrage, nommés *porques*, chevillés sur les vrais membres, auxquels on les fait correspondre.

Les bordages extérieurs les plus épais et qui contribuent le plus à la solidité du navire sont les *préceintes f*; ils courent de l'avant à l'arrière sur tous les membres, auxquels ils sont solidement fixés par des chevilles. Les préceintes ont ordinairement le double de l'épaisseur du bordage; pour la grâce du navire, on leur donne de la *tonture*, c'est-à-dire une courbure agréable à l'œil, qui fait qu'elle se relève aux extrémités vers l'étrave et l'étambot. La première préceinte se place sur le fort du bâti-

ment; elle est la plus épaisse, et les bordages que l'on place en dessous vont en diminuant d'épaisseur d'environ 8 millimètres, jusqu'à ce qu'ils soient réduits à l'épaisseur du bordage de la carène. Les préceintes ont une largeur constante d'un bout à l'autre du bâtiment; mais les bordages qui leur sont inférieurs diminuent de largeur depuis le milieu du bâtiment jusqu'à ses deux extrémités, de manière que, dans quelque partie qu'on les considère, ils soient égaux entre eux en largeur.

Il en est de même des bordages qui forment les planchers des ponts.

§ 4. *Gabarits.*

Les charpentiers de navires n'usent dans aucune circonstance du piqué des bois dont les charpentiers civils font un continuel usage. Le charpentier de navires a été obligé de créer divers moyens pour modeler les pièces de bois, de telle sorte qu'après être taillées, elles s'ajustent avec précision aux places auxquelles elles sont destinées, et qu'elles les remplissent exactement.

Nous avons déjà fait remarquer que, parmi les pièces courbes si nombreuses qui entrent dans la composition d'un navire, le plus grand nombre est taillé par gabarits relevés du *tracé à la salle*; ce moyen convient à toutes les pièces qui ne sont courbes que dans un sens comme les varanques, les fourcats, les allonges des couples, le genou, l'étrave, etc.

Il nous paraît d'autant plus utile de décrire les procédés employés pour relever un gabarit, d'après les courbes dessinées sur le tracé à la salle et sur toute espèce d'épure, que ce procédé peut trouver un grand nombre d'applications dans les diverses branches de la charpenterie.

Soit *a b*, fig. 5, pl. CXLVI, une courbe quelconque du tracé à la salle ou de tout autre ételon dont on veut relever le gabarit qui doit servir à transporter cette courbe sur une pièce de bois qui doit être taillée suivant son contour.

Pour peu qu'une courbe ait de développement, une seule planche ne peut suffire pour en faire le gabarit; il faut composer ce gabarit de plusieurs planches jointes ensemble.

On présente donc plusieurs planches *m n o p q r s t* le long de la courbe à relever, sans en couvrir aucune partie; les planches seules doivent se recouvrir pour qu'elles puissent recevoir chacune une même partie de la courbe et se croiser pour être clouées et former, au besoin, un seul gabarit pour le développement de la courbe.

Les planches étant assujetties sur le plancher où le tracé est exécuté,

on marque sur la courbe une suite de points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

On tracera perpendiculairement aux bords de la planche m, n, o, p des lignes parallèles par les points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, et sur chacune d'elles on portera, à partir de la courbe, une quantité constante 1-1', 2-2', etc.; on obtient ainsi une suite de points 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', 9', 10', 11', 12' par lesquels on fait passer, au moyen d'une règle flexible, une courbe $m' n'$ qui est évidemment la copie exacte et de même grandeur de la partie $m n$ de la courbe donnée.

La planche m, n, o, p sera taillée avec soin et précision suivant cette courbe.

On fait la même chose à l'égard de la planche q, r, s, t , qui est placée de façon qu'elle croise suffisamment la place qui était occupée par la première planche, et l'on trace par les points 6, 7, 8, 9, 10, 11, etc., des perpendiculaires à la longueur de la planche, en portant sur ces perpendiculaires et à partir de la courbe une quantité constante, la même, si l'on veut, que celle qui a servi pour le tracé de la première; on a ainsi sur la deuxième planche les points 6", 7", 8", 9", 10", 11", 12", etc., d'une courbe $q' r'$ de la même figure et de même grandeur que la courbe $q r$. Cette seconde planche étant taillée, comme la première, suivant la courbe $q' r'$, les deux planches peuvent être réunies en faisant coïncider les points 6', 7', 8', 9', 10', 11', 12' de la première avec ceux 6", 7", 8", 9", 10", 11", 12" de la seconde; ces points étant les mêmes que ceux marqués 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 sur la courbe donnée, contre laquelle enfin l'on peut présenter le gabarit formé par la réunion de deux planches pour vérifier son exactitude, qui ne peut, au surplus, manquer si l'on a apporté le soin convenable dans cette opération.

A l'égard des pièces qui ont une double courbure comme les pièces, les lisses de l'arcasse, c'est, comme disent quelques ouvriers, *sur le tas* qu'il faut les façonner en les présentant à plusieurs reprises aux places qu'elles doivent occuper, à moins qu'on ne préfère les méthodes de projection dont les charpentiers civils font usage. Cependant les charpentiers de marine, afin d'abrégier des tâtonnements trop longs et qui pourraient les exposer à manquer l'exécution de quelques pièces importantes et qui exigent un grand travail, ont créé pour quelques cas particuliers des moyens de suppléer les gabarits indispensables qu'on ne peut relever du tracé à la salle.

Tantôt il s'agit de tailler, pour une place donnée, une pièce dont la grande courbure et l'épaisseur ne permettraient pas de profiter de la flexibilité du bois, ni de l'application de la chaleur et de la vapeur pour la courber. Dans d'autres circonstances, profitant de la flexibilité, il

s'agit de tailler les rives d'un bordage, de manière qu'en l'appliquant sur les membres il remplisse exactement un espace qui lui a été réservé.

Dans le premier cas, pour faire le gabarit d'une pièce sur place, on tend très-fortement une ligne de cordeaux devant l'espace que la pièce doit occuper; on établit cette ligne de manière qu'on puisse la regarder comme étant située dans un plan perpendiculaire à la surface dont on veut faire le gabarit.

Quelquefois on établit deux cordeaux parallèles pour déterminer rigoureusement la position de ce plan, puis, avec une jauge que l'on place dans le plan perpendiculairement au cordeau par le moyen d'une équerre, on prend les longueurs des ordonnées dont les abscisses se mesurent sur le cordeau; l'on a ainsi des éléments pour tracer le gabarit.

On peut faire usage d'une planche qu'on place dans le plan dont il s'agit pour qu'il soit établi plus fixement; on peut même quelquefois tracer immédiatement le gabarit sur cette planche.

Si l'on a besoin de plusieurs gabarits posés dans différents sens qui coupent une pièce courbe, on répète l'opération que nous venons de décrire pour toutes les places et pour toutes les positions où des gabarits sont nécessaires.

Pour obtenir le patron développé d'un espace de peu d'étendue sur la carène, on applique sur cet espace une règle mince qui suit, autant que possible, la ligne de contour, et surtout celle suivant laquelle le fil du bois du bordage doit être dirigé; après avoir tracé sur cette règle, maintenue par deux ou trois clous, la ligne de milieu, et des perpendiculaires qui indiquent les places des ordonnées aux courbes du patron, on mesure ces ordonnées.

La règle flexible est ensuite appliquée sur la planche dans laquelle on doit découper le patron pour y marquer les abscisses et les ordonnées, et enfin tracer les courbes de son contour.

Lorsqu'on veut faire le patron d'une pièce dont la longueur est trop grande pour qu'une règle s'étende sur tout le développement de la ligne des abscisses des courbes, comme lorsqu'il s'agit de tailler les *rives* ou *cans* d'une virure de bordage, pour qu'elle s'applique entre les bordages déjà posés et que l'espace qui les sépare soit exactement rempli, à la règle mince on substitue un cordeau fortement tendu auquel on fait suivre la ligne de courbure suivant laquelle le fil du bois de la virure sera appliqué sur la carène. Ce cordage est maintenu à chacune de ses extrémités par un clou, et l'on assure son immobilité par quelques pointes distribuées sur son développement à divers points de ce cordeau, également distants les uns des autres, et marquant la division de la ligne des abscisses; on fixe invariablement par de bons liens et perpendiculairement des petites

règles plates appelées *buquettes*, appliquées à plat sur la carène, et que l'on coupe exactement par les deux bouts aux longueurs des ordonnées du contour formé par les bordages déjà posés, qui limitent l'espace à remplir. Le cordeau enlevé de la surface de la carène est tendu sur le bordage droit et plat qu'il s'agit de façonner, les buquettes sont étendues perpendiculairement au cordeau; les courbes tracées par les extrémités des buquettes marquent les contours des rives de la virure pour qu'elle s'ajuste dans la place qui doit la recevoir.

A l'égard de l'inclinaison des *cans* de la *virure*, pour qu'ils joignent exactement ceux des bordages déjà posés, on relève dans chaque point leur inclinaison avec une fausse équerre, pour les rapporter aux places auxquelles elles correspondent sur le bordage qu'il s'agit de façonner.

Ces moyens, qu'on ne peut regarder comme complètement rigoureux, donnent cependant des résultats très-près d'être exacts, et auxquels on ne parviendrait qu'après de longs tâtonnements; on doit d'ailleurs avoir le soin de laisser du bois pour ragréer les contours des pièces et corriger ce qui est défectueux, lorsqu'on les présente aux places qu'elles doivent occuper. On doit en outre considérer que, quelque parfaits que puissent être les joints des virures, l'ouvrier calfat les ouvre pour y introduire le callatage qui remédie à toutes les imperfections qui auraient eu lieu dans leur façon.

II.

CHARPENTERIE DE BATEAUX.

La charpenterie de bateaux a beaucoup de rapports avec la charpenterie navale; cependant, les bateaux ne naviguant point sur les rivières et sur les fleuves dans les mêmes circonstances et par les mêmes moyens que les embarcations qui voguent sur les mers, leurs formes sont fort différentes. Au lieu d'une carène arrondie commandée par les mouvements divers que les vents et les ondes impriment aux navires, et qui leur permet de se balancer sans secousses et sans dangers, les bateaux, conservant toujours sur l'eau une position à peu près horizontale, peuvent avoir leurs fonds plats, ce qui convient d'ailleurs au peu de profondeur des eaux des rivières.

Les embarcations de marine diffèrent entre elles dans les détails de leurs formes, suivant leur grandeur et leur destination; il en est de même des embarcations fluviales, où l'on distingue un grand nombre d'espèces de

bateaux. Chaque fleuve, chaque rivière a la sienne, qui dépend de la profondeur de l'eau navigable, de la nature des objets de commerce que les bateaux doivent transporter, des dimensions des canaux affluant dans les rivières et de la largeur des arches des ponts sous lesquels les bateaux doivent passer. Néanmoins tous les bateaux sont construits à peu près sur les mêmes principes, et par cette raison nous ne donnons qu'un seul exemple de ce genre de construction.

La fig. 10, pl. CXLVI, est le plan d'un des grands bateaux, dits *bateaux foncets*, en usage en Normandie et en Picardie, et qui viennent à Paris. Une moitié du plan montre le fond, l'autre moitié montre en outre le dessus des plats-bords.

La fig. 9 est une coupe longitudinale de ce bateau sur sa proue.

La fig. 8 est sa coupe en travers.

Ces sortes de bateaux sont des plus grands; ils ont 40 à 50 mètres de longueur, 7 à 9 de largeur, et 1 mètre à 1 mètre et demi de hauteur de bord.

Le fond est composé de poutrelles *a*, appelées *liures*, de 20 à 25 centimètres d'équarrissage, et de *râbles b*, moins forts, posés parallèlement et espacés également, presque autant de vides que de pleins; au-dessous des *liures* sont clouées les planches jointives ou *semelles* qui composent le fond du bateau; les joints sont remplis de mousse comprimée; ils sont recouverts en dessus comme en dessous de lattes de merrain divisées, en trois parties, suivant leur largeur, ce qui tient lieu du cafaltage d'étoupe employé dans les constructions navales.

Les côtés du bateau, autrement dit ses bords, sont formés par les *clans c* assemblés sur les *liures*, et les *râbles* qui reçoivent le premier bordage appelé *rebord* et tous les autres bordages. Les *clans* sont entretenus intérieurement par une *lierne d*, qui s'étend d'un bout à l'autre du bateau; un peu au-dessus de la lierne sont les *portelots e*, cloués sur des *clans* qui sont assemblés aux *plats-bords f* qui forment les bords des bateaux et aux *hersilières g* qui suivent les contours du *bec* de la *proue*. Les *plats-bords* et les *hersilières* ont 30 à 40 centimètres de largeur sur 25 à 30 d'épaisseur; elles sont liées transversalement à la longueur du bateau par des poutrelles horizontales appelées *mâtures r*, soutenues dans leur longueur, répondant à la largeur du bateau, par quelques petits *poteaux k* verticaux qui les unissent aux *liures*.

Ces *mâtures* sont attachées aux plats-bords par des équerres en fer *m*; elles retiennent l'écartement des deux côtés du bateau.

Quelquefois la solidité du bateau est augmentée par des *courbes* ou *coules o* cloués sur des *liures* et les *clans* répondant aux *mâtures*.

Dans la construction des bateaux dont les proues et les poupes se termi-

ment par une arête, la pièce qui forme cette arête reçoit seule le nom de *quille*; elle tient lieu de l'étrave ou de l'étambot des navires. Les bateaux n'ont jamais de quilles horizontales comme les navires.

Dans les bateaux de moindre dimension que les foncecs, les *clans* sont souvent remplacés par des *courbes* ou *coudes* qui sont placés entre les liures et cloués ou chevillés aux semelles et aux bordages.

Les batelets et les nacelles n'ont ni *liures* ni *clans*; ces pièces sont remplacées par des *courbes* ou *coudes* sur lesquels sont clouées, par le dehors, les planches de fond et celles de bordage; des *plats-bords* et des *herseières*, répondant aux dimensions de ces petites embarcations, couronnent les branches verticales des courbes qui s'y assemblent.

CHAPITRE XLVI.

CHARPENTERIE DE MACHINES.

Le charpentier des machines, jadis désigné sous le nom de *charpentier de moulins*, exécute toutes les pièces en bois qui entrent dans la composition des machines. Nous ne prétendons pas faire à ce sujet un traité des machines en bois, ni même comprendre dans ce chapitre la description des machines dont la construction est du ressort de la charpenterie, les limites qui nous sont imposées ne permettant pas les développements d'un pareil travail, qui devrait comprendre la description complète des machines à vent et à eau, des manèges, des foulons, etc., avec autant de détails que nous avons donnés sur les édifices d'habitation. Notre but est seulement de décrire la construction des pièces les plus fréquemment employées dans les machines, et qui en sont en quelque sorte les principaux éléments, et de faire connaître aux charpentiers les procédés que la géométrie descriptive a appliqués à cette partie de leur art, et qui ont rectifié plusieurs formes vicieuses qui étaient jadis employées, et qu'on remarque encore dans des machines anciennes.

L'objet d'une machine est de transmettre et souvent de modifier le mouvement imprimé à l'une de ses parties par une force motrice pour qu'il produise un effet donné. Presque toujours le mouvement à transmettre ou à modifier est le mouvement de rotation.

I.

TRANSMISSION DU MOUVEMENT DE ROTATION ENTRE DES AXES PARALLÈLES.

§ 1. *Transmission par frottement.*

Si l'on imagine deux roues cylindriques, d'une épaisseur quelconque qui se touchent par leur circonférence, dont les axes sont parallèles et portent sur des appuis fixes dans lesquels ils ne puissent recevoir que le

mouvement de rotation. Quelques minimes que soient les aspérités des surfaces de ces roues mises en contact, dès que, par un moyen quelconque, on imprime un mouvement de rotation à l'une d'elles, elle transmet ce mouvement à l'autre roue par l'effet du simple frottement.

Les deux roues tournent dans des sens inverses, la surface de la circonférence de l'une roule sur la circonférence de l'autre; les vitesses des points des deux circonférences sont les mêmes, mais les nombres de tours faits dans le même temps par les roues sont dans le rapport des développements de leur circonférence, ou, plus simplement, dans le rapport de leurs rayons.

Ainsi, par exemple, soient, fig. 1, pl. CXLVIII, les projections de deux roues cylindriques a , b , sur le plan commun aux deux cercles de leur base; soient a' , b' , deux autres projections des mêmes roues, sur un plan parallèle à leurs axes, les épaisseurs de ces deux roues étant dans leurs surfaces cylindriques; si le rayon de la roue a est trois fois ou m fois plus grand que celui de la roue b , et qu'il faille une minute pour que la roue a fasse un tour entier, elle fera faire, dans le même temps, à la roue b , trois tours ou m tours.

Si la résistance que la roue b , qui reçoit le mouvement pour produire l'effet qu'on veut qu'elle produise, n'est pas supérieure au frottement qui a lieu entre les deux surfaces cylindriques des roues, la rotation de la roue a est transmise à la roue b , mais si cette résistance est supérieure, le mouvement de rotation n'est pas transmis, la surface de la roue a glisse sur celle de la roue b sans l'entraîner; d'ailleurs, le frottement use promptement les surfaces, et bientôt il serait insuffisant pour transmettre la rotation, même dans le cas de la plus faible résistance.

Pour suppléer le frottement, et, dans tous les cas, agir avec plus de puissance, on garnit les deux surfaces des roues de fortes aspérités, que l'on nomme des dents, qui engrènent d'une roue à l'autre, et dont les dimensions sont assez fortes pour que le mouvement puisse toujours être transmis.

§ 2. Engrenages droits par dents externes à faces et flans.

Les dents des engrenages ont des formes déterminées par la condition que la transmission du mouvement se fasse uniformément et sans secousses. La courbe dont on fait le plus d'usage pour tracer les contours des dents, est une épicycloïde.

Nous croyons utile, pour ceux de nos lecteurs qui ne connaîtraient point cette courbe, dont il sera souvent question dans ce chapitre, de donner une courte description de sa génération, avec d'autant plus de

raison que les propriétés de cette génération servent à la solution de questions qui vont être traitées.

Génération de l'épicycloïde. Soit BP , fig. 10, un arc de cercle décrit du point C , soit DQB un autre cercle tracé sur le même plan, et qui touche le cercle BP en B ; si l'on conçoit que le cercle DQB roule autour de l'autre cercle BP , et qu'un point B du cercle mobile trace une courbe BMK ; cette courbe est une épicycloïde plane. Dans le mouvement que le cercle BQD a fait pour prendre la position bvd , le point Q est venu en b où le cercle bvd touche le cercle BP , et le point B est venu en M , point de la courbe. Dans ce mouvement, l'arc BuQ a roulé sur l'arc Bb , qui a le même développement, il a pris la position Mvb .

Lorsque le cercle mobile est intérieur au cercle fixe, il décrit encore une épicycloïde, mais elle est intérieure au cercle BP . Je ne l'ai point tracée sur la figure.

Nous verrons à la page suivante comment cette épicycloïde intérieure peut devenir un rayon du cercle fixe BP .

Tangente à l'épicycloïde. Soit proposé de tracer la tangente de l'épicycloïde par un point donné de cette courbe, soit M ce point donné de l'épicycloïde BMK : la première chose à déterminer, c'est la position du cercle mobile BPQ , lorsque son point traçant B est en M . Pour cela, du point C comme centre avec un rayon CM , on trace un arc de cercle MQ qui détermine le point Q sur le cercle mobile BQD dans la position de l'origine de son mouvement; faisant alors $Mb = QB$ ou $My = Qx$, on a la position du rayon dC , et celle du contact b du cercle mobile avec le cercle fixe. Le diamètre de ce cercle est sur la droite Cd ; il est égal à BD .

Dans son mouvement pour tracer l'épicycloïde, le point M tend à décrire un arc de cercle dont le centre est en b , et le rayon est la corde bM . L'épicycloïde est tangente à cet arc de cercle, car elle en enveloppe tous les arcs de cercle qui seraient tracés de la même manière pour toute autre position du point M .

Par conséquent, le rayon bM est normal au petit arc de cercle qu'il a décrit du centre b , et à l'épicycloïde, et la tangente à l'épicycloïde est la corde dM , l'angle dMb étant droit.

Formes des dents. Soit, fig. 4, pl. CXLVII, l'arc AMB d'un cercle tracé du centre C , sur le plan d'une roue dont l'axe passe par le point C , et est projeté sur ce point.

Soit aussi l'arc $A'MB'$ d'un autre cercle tracé du centre C' dans le

même plan sur une roue dont l'axe est projeté sur le point C' . Ces deux cercles sont en contact au point M .

Soient tracés sur les rayons CM , $C'M$ comme diamètres, des cercles entiers $CpMq$, $C'p'Mq'$, si l'on fait rouler de cercle $C'p'Mq'$ en dedans de la circonférence $A'MB'$ (1), l'épicycloïde décrite par le point M sera le rayon MC du cercle $A'MB'$ (2).

Si, d'une autre part, on fait rouler le même cercle décrit sur le rayon MC comme diamètre sur la circonférence de l'autre cercle AMB , le même point M décrira, comme nous l'avons fait voir plus haut, l'épicycloïde Mm' .

Il est aisé de voir que pendant le mouvement de rotation des deux cercles AMB , $A'MB'$, l'un conduisant l'autre par l'effet du frottement de leurs circonférences, et le cercle $C'p'Mq'$ tournant également sur son centre O par l'effet de son frottement avec les deux autres cercles, frottement constamment exercé au point M de la ligne qui joint les trois centres, l'épicycloïde tracée par le point M du cercle $C'p'Mq'$ sur le plan du cercle AMB , aura toujours pour tangente le rayon CM du cercle $A'MB'$, tracé sur le plan de ce même cercle $A'MB'$ par le même point M du cercle $C'p'Mq'$, qui a pour diamètre ce même rayon CM .

Ainsi, l'épicycloïde Mm' étant fixée au cercle AMB , et le rayon CM fixé au cercle $A'MB'$, lorsque le cercle AMB sera mis en mouvement, l'épicycloïde Mm' formant la face d'une dent du cercle AMB , mènera le cercle $A'MB'$ par le contact de cette épicycloïde avec le rayon CM qui sera le flanc de la dent qui se trouvera fixée au cercle $A'MB'$, comme si l'un des deux cercles conduisait l'autre par l'effet de leur frottement.

Le point M peut de même tracer une épicycloïde, Mm au moyen du cercle mobile $CpMq$ décrit sur le diamètre CM roulant sur le cercle $A'MB'$. Ce même point M du cercle $CpMq$ tracera la ligne MC en roulant

(1) Nous n'avons tracé dans la figure que les arcs $AMB A'MB'$, mais il faut se représenter les cercles entiers auxquels ces arcs appartiennent.

(2) Soit Dbb , fig. 9, pl. CXLVIII, un cercle fixe décrit du centre C . Soit un cercle CoB mobile et roulant en dedans de la circonférence du cercle Dbb ; le point B du cercle mobile CoB tracera pour épicycloïde la ligne droite CB , par suite de ce que le cercle CoB est décrit sur le rayon CB comme diamètre. En effet, soit le cercle mobile dans une position quelconque, Cmb son diamètre, Cb est le rayon du cercle fixe, l'angle BCb a pour mesure l'arc Bb du cercle fixe, le même a pour mesure la moitié de l'arc mb du cercle mobile Cmb . Pour que cela soit ainsi, le rayon CB étant le double du rayon cb , il faut bien que l'arc cbm soit du même développement que l'arc Bb . Par conséquent, lorsque le cercle CoB est parvenu dans la position Cmb , son point B est venu en m ; et comme il en est de même pour toute autre position du cercle mobile, il est démontré que son point B trace le rayon CB .

en dedans du cercle AMB , et dans ce cas encore, l'épicycloïde Mm , comme face d'une dent du cercle $A'BM'$, pourra conduire ou être conduite par la ligne droite CM , comme flanc de la dent appartenant au cercle AMB .

On voit que par l'effet de la tangence des faces épicycloïdales et des flancs rectilignes dont nous venons de parler, les lignes mixtes $mM G'$, $m' M G$ peuvent, dans le mouvement de rotation de deux roues, se conduire réciproquement suivant le sens dans lequel ce mouvement de rotation est imprimé à l'une des deux roues.

Pour appliquer les principes que nous venons d'exposer à l'exécution d'un engrenage, il faut connaître comment on distribue les dents et comment on limite l'étendue de leurs faces épicycloïdales et de leurs flancs rectilignes pour que la transmission du mouvement ait lieu sans interruption.

Les dents d'une roue doivent être égales entre elles et distribuées également sur la circonférence; il faut en outre qu'elles conservent avec celles de la roue avec laquelle elles engrènent, des relations de dimensions telles qu'elles aient toutes la même force pour résister également aux efforts qu'elles ont à transmettre.

Les rayons des cercles primitifs qui se touchent, et à l'égard desquels la transmission par engrenage doit produire le même effet que si ces cercles s'entraînaient par l'effet de leur frottement réciproque, sont comme les circonférences qui leur répondent dans le rapport inverse des nombres de tours que doivent faire ces cercles dans le même temps; il s'ensuit que les nombres de dents réparties sur les circonférences des deux roues doivent être aussi dans le même rapport.

Si deux roues que j'appelle l'une r et l'autre R , doivent se transmettre le mouvement de rotation dans un rapport tel que pendant que la roue R fera un tour, la roue r en fera trois; c'est-à-dire dans le rapport de un à trois, le rayon de la roue R sera le triple du rayon de la roue r ; la circonférence de la roue R sera également le triple de la circonférence de la roue r ; enfin, le nombre des dents d'engrenage de la roue R sera le triple du nombre des dents de la roue r .

Par suite de ces considérations, soit fig. 4, pl. CXLVII, AMB le cercle décrit du centre C et le cercle $A'M'B'$ décrit du centre C' , ces deux cercles se touchent au point M . Ils sont les cercles primitifs de deux roues dont les dents doivent transmettre entre elles le mouvement de rotation, comme si ce mouvement était transmis par l'effet du frottement entre ces deux cercles.

On divise la circonférence de chaque cercle primitif en parties égales, et dont les nombres sont dans le rapport des rayons de ces cercles.

Le nombre de ces parties est déterminé par la force que l'on doit donner à chaque dent; chacune de ces parties est divisée en deux autres parties, l'une un peu plus petite que l'autre; la plus petite marque l'épaisseur d'une dent. Ainsi le petit arc MN marquant la largeur d'une dent de la circonférence AMB , par le point M on trace le rayon MC ; sa partie MG , dont nous déterminerons bientôt l'étendue, est le flanc gauche d'une dent de la grande roue, et une portion Mx de l'épicycloïde $Mx m'$, tracée par le mouvement du cercle mobile $M'p'c'q'$ autour du cercle AMB , forme la face gauche de la même dent.

En opérant pour le point N de la même manière que nous venons d'indiquer pour le point M , on trace le rayon NC dont la partie Ng forme le flan droit de la même dent, et l'épicycloïde $Nx n'$ dont une portion Nx forme la face droite; on a ainsi les deux lignes mixtes GMx , gNx qui marquent la forme d'une dent de la roue qui répond au cercle primitif AMB .

Par une construction pareille, on détermine pour la roue à laquelle répond le cercle primitif $A'MB'$, la forme d'une dent qui est comprise entre les lignes mixtes $G'Mx'$, $g'N'x'$. Les arcs MN et $M'N'$ sont égaux.

Les cercles $ay'a$, $a'y'a'$ décrits des centres C et C' qui passent par les points x , x' des bouts des dents, les rapportent en y et y' : Cy et $C'y'$, sont les rayons des cercles vGu , $v'G'u'$ qui marquent les circonférences de roues matérielles, c'est-à-dire les bases des surfaces externes de leurs jantes en bois, au maximum de leurs grandeurs, pour que pendant le mouvement les bouts des dents d'une roue ne soient point arrêtés par la rencontre de la jante de l'autre roue.

Une condition essentielle à remplir dans l'engrenage de deux roues, c'est qu'il y ait toujours au moins une dent d'une roue en contact avec une dent de l'autre roue, et que le contact de ces deux dents ne cesse point avant que le contact des deux dents suivantes soit déjà engagé. Cette condition est remplie par une sorte de tâtonnement, ou plutôt on vérifie si elle est convenablement remplie. On opère cette vérification comme il suit: l'arc de cercle $ay'a$ décrit du centre C avec le rayon Cy , coupe en z le cercle $C'p'Mq'$ décrit sur le diamètre $C'M$. Par le point z on trace le rayon $C'z$: il est évident que si l'on trace la dent oz et la dent $o'z'e'$, elles sont l'une et l'autre dans la dernière position du contact entre les dents de la grande roue poussant celles de la petite, puisque les dents de la grande roue ne se prolongent point au-delà du cercle $ay'a$. De même, le cercle $a'y'a'$, décrit du centre C' , coupe en v le cercle $CpMq$, décrit sur le diamètre $C'M$. Par le point v on trace la ligne Cv ; si l'on trace la dent de la grande roue ivj et celle de la petite roue $i'v'j'$, on voit qu'elles sont dans la position du contact qui commence; de sorte que, lorsque

le mouvement sera imprimé à la grande roue, dont le centre est en C , dans le sens B vers A , une dent quelconque $i v j$ de cette grande roue commencera à mener par son flanc la tête de la dent $i' v' j'$ de la petite roue, dont le centre est en C' , qu'elle rencontre, et ce flanc mènera la dent $i' v' j'$ dans le sens de B' en A' jusqu'au point M , où la tête de la dent $i v j$, parvenue dans la position $G M x N g$, commence à mener le flanc de celle $G' M' x' g'$, et elle continuera à mener ce flanc et la dent à laquelle il appartient jusque dans la position $o z e$ pour la grande roue; la dent de la petite roue est alors dans la position $o' z' e'$, le dernier contact étant, comme nous l'avons vu plus haut, en z . Ayant tracé entre le point z et le point v , les dents de l'une et de l'autre roue suivant la division qui en a été faite, en mettant toujours le contact moyen en M sur la ligne qui joint les centres, on connaît combien de dents se trouvent en contact. Or, on voit dans cette figure que, dans le moment où deux dents $G x g$, $G' x' g'$ sont en contact en M , les dents 1-2-3, 1'-2'-3' ont déjà commencé à être en contact depuis qu'elles ont été dans les positions $i v j$, $i' v' j'$, et cela dans le même moment où les dents 3-4-5, 3'-4'-5' sont encore en contact et prêtes à se séparer dès qu'elles seront dans les positions $o z e$, $o' z' e'$; on a ainsi l'assurance qu'il y aura toujours deux dents d'une roue en contact avec deux dents de l'autre roue, et que par moments il y en aura trois.

La figure 6 est la représentation de cet engrenage dégagé de toutes les lignes de construction; les dents sont fixées sur les jantes qui forment la circonférence des deux roues.

On voit que dans cette figure les dents sont trop fortes par rapport aux jantes, et qu'il y aura une proportion à garder dans la détermination de la force des dents, par rapport à la grandeur des roues et à l'effort qu'elles doivent supporter et transmettre.

Nous avons représenté, figure 2, deux roues dentées engrenées, avec les détails de leur construction. L'anneau ou jante a de chacune est composé de plusieurs pièces assemblées bout à bout quelquefois par un tenon fort court, quelquefois aussi par un simple goujon. Cette jante est combinée par entailles peu profondes, et fixée par des boulons à une enrayure composée de quatre pièces b assemblées à mi-bois et à entailles réciproques; ces quatre pièces laissent entre elles un vide carré dans lequel entre la partie carrée c de l'arbre tournant, portant une embase contre laquelle l'enrayure s'appuie et où elle est retenue par un coin d en bois qui traverse l'arbre.

Chaque dent est un petit corps en bois dur tracé, suivant les règles dont nous avons parlé et implanté sur la circonférence de la jante dans des mortaises percées avec la plus grande précision. Ces dents portent

sur leur épaisseur un petit épaulement sur chaque côté qui fixe leur position, et permet de les serrer fortement au moyen d'une clef qui traverse leurs queues; les dents sont coupées sur leurs bouts par un pan perpendiculaire à leur longueur qui permet de frapper dessus avec un maillet en bois.

La figure 3 est une projection sur un plan parallèle aux axes de rotation dans laquelle on voit les objets déjà désignés ci-dessus marqués des mêmes lettres.

Nous avons représenté, fig. 4, une dent isolée par ses différentes projections :

1. Projection sur le plan de la roue ;
2. Projection sur un plan parallèle à l'axe de la roue ;
3. Projection sur un plan perpendiculaire à la longueur de la dent représentant le bout du tenon et son épaulement ;
4. Projection sur un plan perpendiculaire à la longueur de la dent, et représentant le bout de sa tête.

La partie saillante d'une dent, au dehors de la jante dans laquelle elle est assemblée, ne doit être que d'une fois et demie ou deux fois tout au plus son épaisseur.

§ 3. *Engrenages intérieurs.*

Lorsque la position des axes et le rapport entre les cercles primitifs est tel que l'un des deux cercles se trouve dans l'intérieur de l'autre, les dents de la grande roue sont implantées dans la paroi intérieure de sa jante, celles de la petite sont sur sa circonférence extérieure. En traçant les contours des dents par la construction que nous venons d'indiquer, on reconnaît que les flancs des dents des deux roues sont tournés du même côté, et que leurs faces sont également tournées du même côté, de façon qu'il y a impossibilité de donner aux dents des faces et des flancs; il faut se contenter de donner seulement aux dents d'une roue des flancs et aux dents de l'autre des faces; et comme une épicycloïde a plus de courbure lorsqu'elle est formée sur un grand cercle que sur un petit, on compose les dents de la grande roue seulement de faces épicycloïdales, et les dents de la petite, seulement de flancs : c'est ce cas que nous avons représenté fig. 5, pl. CXLVII.

AMB est le cercle primitif de la grande roue qui a son centre en C :

$A'MB'$ est le cercle primitif de la petite roue; son centre est en c' .

Le cercle décrit sur le rayon $c'M$, comme diamètre, engendre l'épicy-

cloïde Mm pour l'une des faces d'une dent, et l'épicycloïde Nn pour l'autre face.

Le même cercle, en roulant sur le cercle primitif $A' M' B'$, engendre les flancs en ligne droite des dents de la petite roue, qui sont conduits par les faces des dents de la grande, ou qui les conduisent suivant le sens du mouvement de celle des deux roues qui le transmet à l'autre.

Si l'on voulait laisser aux dents de la grande roue la totalité de leurs faces, elles auraient toutes la forme de celle MxN , et l'intersection du cercle axa , avec le cercle décrit sur le diamètre $c'M$, déterminerait le point z , et la position d'un flanc $c'z$ marquant la limite où cesserait le contact entre les faces des dents de la grande roue et les flancs des dents de la petite; mais on tronque les faces des dents de la grande roue par de petits pans $x'x'$ à une distance constante du centre C pour la grande roue, ce qui permet de prendre le cercle $u'u'$ pour la paroi extérieure de la petite roue, sur laquelle sont implantées les dents formées seulement de deux flancs $GM, g'N'$: ces dents sont déterminées par des pans en arc de cercle $y'y'$ raccordés avec les flancs par deux petits adoucissements également en arc de cercle $y'N, y'M$. Pour donner passage à cette partie des dents de la petite roue, la paroi de la jante de la grande roue est reculée jusqu'au cercle uu sur lequel les dents s'assemblent moyennant le prolongement en ligne droite de leurs faces en forme de flancs, de façon qu'elles prennent la forme $G'M'x'N'g'$ sur la grande roue, et $GM'y'y'N'g$ sur la petite.

§ 4. Engrenage à lanterne.

Dans les engrenages taillés dans les roues en métal, lorsque la petite roue est fort petite, elle prend le nom de pignon, et ses dents se trouvent tellement rapprochées de l'arbre qui lui sert d'axe, qu'elles sont immédiatement appliquées à cet axe et font quelquefois corps avec lui. Ces pignons ne sont quelquefois formés que de huit à douze dents. Lorsque le même cas se présente dans les engrenages en bois, c'est-à-dire lorsque le rayon de la petite roue se trouve tellement restreint, qu'il serait impossible de construire une roue composée de jantes et de dents implantées sur sa circonférence, on fait usage d'une roue d'une autre forme nommée lanterne, à cause de sa forme. Elle est composée de deux plateaux parallèles, entre lesquels sont assemblés des fuseaux cylindriques parallèles à l'axe; ces fuseaux remplacent des dents, et ils servent à mener les dents de la grande roue ou sont menées par elles, suivant le cas.

J'ai représenté, fig. 8, pl. CXLVII, la coupe d'une lanterne perpendiculairement à son axe projeté en C , au centre de l'arbre carré aussi coupé, sur lequel cette lanterne est montée. Les cercles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, remplis de hachures, sont les coupes de ses 12 fuseaux cylindriques, dont les axes sont parallèles à celui de la lanterne. Ces axes se trouvent dans une surface cylindrique dont la base est le cercle primitif passant par les centres des mêmes cercles 1, 2, 3, 4, etc. Ces fuseaux sont montés entre deux plateaux circulaires, l'un desquels est représenté par le cercle $a b$.

Le cercle $A B$ est le cercle primitif de la grande roue dont les dents doivent engrener avec les fuseaux de la lanterne. Pour obtenir la forme que doit avoir une dent, il faut faire mouvoir le cercle primitif $a b$ de la lanterne sur le cercle primitif $A B$ de la roue. Chaque centre de fuseau tracera une épicycloïde : ainsi, celui du cercle coté 3 produira l'épicycloïde $s 3 m$; par conséquent, en traçant la courbe équidistante $s' o m'$, elle pourra pendant la rotation mener le fuseau 3, et imprimer un mouvement de rotation uniforme à la lanterne sur son axe. En opérant de la même manière, mais en sens inverse, à l'égard du centre du fuseau 4, on a une épicycloïde $t 4 n$ et la courbe $t' o n'$, qui en est équidistante, et peut faire la seconde face de la dent $s' o t'$, de façon que, pendant la rotation, cette dent serait toujours en contact par une face avec le fuseau 3, et par l'autre face avec le fuseau 4. Mais pour que dans aucune circonstance les dents ne se trouvent serrées entre les fuseaux, et pour qu'elles n'aient pas plus d'épaisseur qu'il n'est nécessaire, on rapproche l'une des deux courbes de l'autre ; celle $t' o n'$ est rapprochée en $t'' x n''$ de façon que la dent aura la forme $s' x t''$. Toutes les dents sont formées de la même manière et distribuées à des distances égales, comme nous l'avons déjà précédemment indiqué. Elles sont tronquées, afin que l'on puisse frapper sur leurs bouts pour les assembler dans la roue.

Dans la même figure 8, nous avons indiqué le cas où la lanterne engrène avec des dents implantées sur la paroi intérieure de la roue. $A' B'$ est le cercle primitif de la roue sur lequel roule le cercle primitif de la lanterne, pour engendrer l'épicycloïde $p u' q$ décrite par le centre du fuseau 10. La courbe $p' y' q'$ est équidistante de cette courbe, elle forme la face d'une dent. En opérant en sens inverse, à l'égard du centre du fuseau 9, l'épicycloïde $r u$ est décrite par le centre du fuseau 9, et la courbe $r' u'$, qui en est équidistante, peut former la deuxième face de la dent $p u' r'$; mais comme précédemment on rapproche cette courbure en $r' u''$, la dent $p' y' r''$ a une épaisseur suffisante. On la tronque par le bout, comme nous avons fait précédemment, à une longueur assez grande pour qu'il y ait toujours trois dents engrenées avec trois fuseaux.

§ 4. Engrenages par dents sans flancs.

On forme aussi des engrenages en ne donnant aux dents que des faces formées par des arcs de la spirale connue sous le nom de *développante du cercle*.

Ainsi, soit AMB , $A'MB'$, fig. 41, pl. CXLVII, deux cercles primitifs de deux roues cylindriques, ayant leurs axes parallèles; soient deux cercles aGb , $a'G'b'$ dont les rayons sont entre eux comme ceux des cercles primitifs; ces cercles, qui doivent être les contours des roues, sont choisis de façon que les dents aient une longueur suffisante par rapport à leur épaisseur, qui dépend de la force qu'on veut leur donner, et de l'étendue pendant laquelle on veut que leur contact ait lieu; soit enfin une ligne droite TT' , passant par le point M , tangente aux deux cercles aGb , $a'G'b'$. Si l'on enveloppe cette tangente, comme un fil flexible, sur les deux cercles l'un après l'autre, un de ces points, celui M , décrira deux spirales développantes des deux cercles, celle GMm pour le cercle aGb , l'autre $G'Mm'$ pour le cercle $a'G'b'$. Chacune de ces courbes pourra conduire l'autre, et transmettre le mouvement de rotation d'une roue à l'autre, de telle sorte que le mouvement étant uniforme dans l'une, il le sera également dans l'autre, et le point de contact entre les deux dents sera constamment sur la tangente TT' où il aura également un mouvement uniforme.

La courbe GMm , formant une face d'une dent, une courbe exactement égale gNn tracée de même, mais en sens inverse, et résultant de l'enveloppement d'une tangente symétrique $t't'$, formera l'autre face de la même dent. La dent correspondante de l'autre roue, ayant déjà sa face $G'Mm'$ déterminée, l'autre face de cette même dent sera la courbe $g'N'n'$, obtenue au moyen de la même développante tracée en sens inverse. Les nombres des dents ayant été fixés, elles sont distribuées en conséquence sur les circonférences des roues. Les bases Gg , $G'g'$ des dents sur l'une et l'autre roue sont déterminées de façon que les dents d'une roue trouvent leurs places pendant le mouvement dans les intervalles des dents de l'autre roue. Les courbes qui forment les faces des dents, en se rencontrant à leurs sommets, leur donnent une forme aiguë que l'on tronque, ainsi que nous l'avons précédemment dit, par un arc de cercle $s'r$ et $s'r'$, et comme elles sont tracées sur la figure 41.

Nous avons tracé des dents en traits ponctués, afin d'indiquer leurs positions après que les roues, l'une poussée par l'autre, ont tourné, pour faire voir que les points de contact entre les dents ne quittent pas la tangente TT' , et l'on doit remarquer que, par cette disposition, ce point de

contact entre deux dents se meut sur cette tangente comme se mouvrait un point d'une corde sans fin qui envelopperait les deux roues pour communiquer, de l'une à l'autre, le mouvement de rotation imprimé à l'une d'elles.

La figure 12 a pour objet de faire voir que, par la construction que nous venons de décrire, l'engrenage est continu et sans interruption; en effet, cette figure montre deux dents de chaque roue, par exemple, celles a, b , de la grande roue en contact avec celles a', b' , de la petite, et l'on voit que les dents b et b' , qui ont commencé à être en contact au point 1, ont leur contact en 2 dans le moment où les dents a et a' vont cesser, au point 3, de se toucher, de façon qu'il y a certitude qu'une dent d'une roue sera toujours en contact avec une dent de l'autre, et que le contact de deux nouvelles dents commencera bien avant que le contact des deux précédentes cesse. Ce mode d'engrenage, qui est le moins usité, est cependant bien préférable au précédent. Les dents sont plus fortes, elles sont tracées par une courbe unique; l'action de l'une sur l'autre a toujours la même direction; une inexactitude dans l'écartement des arcs ne nuit point à la régularité ni au rapport de la transmission du mouvement, mais il ne peut s'appliquer aux cas très-rare des engrenages qui doivent avoir lieu par les parois intérieures de l'une des roues. Soit, fig. 7, $a M b$ le cercle primitif de la grande roue, $a' M' b'$ le cercle primitif de la petite roue, on ne peut tracer de cercles dont les rayons soient plus petits, et dans le même rapport que les cercles primitifs, pour leur mener une tangente commune, puisque leurs centres sont d'un même côté par rapport à leur contact. La tangente commune $M T$ ne peut donc être menée qu'aux cercles primitifs, et dans leur point de contact. Si l'on enveloppe cette tangente sur les deux cercles, l'un après l'autre, un point N de cette tangente trace une développante $G N g$ pour le cercle primitif $a M b$, et une développante $G' N' g'$ pour le cercle primitif $a' M' b'$. Ces deux courbes se touchent en N , mais elles se croisent en même temps au même point, ce qui fait qu'il n'est pas possible qu'elles servent pour former les faces des dents des deux roues.

§ 5. Engrenages multiples.

Lorsque l'effort que les dents des roues ont à supporter est considérable, et que les dimensions qu'on peut leur donner, et le nombre de celles qui sont en contact, ne répondent point à la résistance qu'elles doivent avoir, on satisfait à la nécessité d'en mettre un grand nombre en contact, en établissant plusieurs rangées de dents sur chaque roue, de façon que

chaque rang d'une roue engrène avec le rang correspondant de l'autre roue : il en résulte un *engrenage multiple* qui produit le même effet que si plusieurs roues égales, montées sur le même arbre, engrenaient plusieurs autres roues, montées aussi sur un même arbre, avec cette différence que les dents des rangs de chaque roue répondent aux points d'une division unique communes à toutes les roues.

La figure 9 représente l'engrenage multiple de deux roues, sur chacune desquelles il y a trois rangs de dents ; chaque dent étant tracée au moyen d'une épicycloïde, et ayant deux faces et deux flancs.

Nous avons réuni dans cette figure deux modes de composition de la charpente des roues.

La figure 10 est une projection de la plus petite des deux roues dans laquelle la jante est coupée par les parties $v v'$, $z z'$ d'un plan par l'axe et l'une des raies par le plan parallèle $x x'$. Elle montre la disposition des trois rangs de dents, et les détails de la construction de la roue.

La figure 13 représente un engrenage multiple à quatre rangs de dents tracées par les développantes du cercle.

§ 6. *Pilons.*

Le changement du mouvement de rotation en mouvement en ligne droite s'obtient au moyen de dents également tracées par une développante du cercle.

Soit, fig. 14, pl. CXLVII, $d b$ la ligne droite suivant laquelle le mouvement doit être transmis à un pilon P ; $m n$ le cercle primitif d'une roue.

Soit $m' n'$ un autre cercle d'un diamètre plus petit, choisi de manière que sa tangente $t t'$ ne soit pas trop écartée du pilon P . Soit $p r s$ une développante du cercle $m' n'$: cette courbe forme la face d'une dent a ; elle mène le flanc $r z$ du mentonnet A implanté dans le pilon P , par conséquent ce pilon sera enlevé suivant sa longueur, comme si le frottement du cercle $m n$ sur la ligne $d b$ menait cette ligne.

La dent a reçoit le nom de came ; les comes sont montées ou implantées dans un arbre tournant D , et à chaque tour que fait une came a , elle soulève le mentonnet et le pilon P correspondant : ce pilon retombe par son poids pour être repris successivement par les comes a' , a'' .

La figure 14 est une projection horizontale de ce système, dans lequel nous avons représenté trois pilons P , Q , R , et leurs trois mentonnets A , B , C , et pour chacun ses trois comes, savoir : pour le mentonnet A , les comes a , a' , a'' ; pour le mentonnet B , les comes b , b' , b'' ; et pour le mentonnet C , les comes c , c' , c'' .

II.

TRANSMISSION DU MOUVEMENT DE ROTATION ENTRE DEUX AXES QUI SE COUPENT.

§ 1. *Transmission par frottement.*

Lorsque les axes sur lesquels a lieu la rotation de deux roues ne sont point parallèles, il est indispensable, pour un motif que nous expliquerons plus loin, page 572, que ces axes se coupent. Il résulte de cette condition que les roues ne peuvent plus être cylindriques, et qu'il faut, pour que la transmission du mouvement puisse avoir lieu, qu'elles soient coniques. Ainsi, soient, fig. 3 et 6, pl. CXLVIII, deux surfaces coniques $m n$, $m o$ dont les axes $a b$, $d e$ prolongés se coupent en c . Ces deux surfaces se touchent suivant une génératrice comme $m c$ qui est dans le plan de leurs axes et qui passe par le point c .

L'une de ces surfaces coniques, recevant par un moyen quelconque un mouvement de rotation sur son axe, entraîne l'autre surface, et lui communique le mouvement de rotation par l'effet du simple frottement, comme si l'une des surfaces roulait sur l'autre.

L'angle que font les axes peut être droit, comme dans la figure 3, ou quelconque, comme dans la figure 6.

§ 2. *Engrenage d'angle à dents avec faces et flancs.*

Si, comme nous l'avons déjà dit, la résistance de l'effet à produire est supérieure à l'intensité du frottement qu'exerce une roue sur l'autre, le mouvement de rotation ne peut être transmis sans recourir aux engrenages. Dans le cas de la transmission entre des roues dont les axes se coupent, les formes des dents sont déterminées par des *épicycloïdes sphériques*.

Il nous paraît indispensable de décrire préalablement cette courbe, par les mêmes motifs qui nous ont déterminé à décrire précédemment l'*épicycloïde plane*.

Génération de l'épicycloïde sphérique. Soit dans le plan horizontal, fig. 10, pl. CXLVIII, un cercle $B b$ décrit du centre C ; soit $C D$ la trace d'un plan vertical; soit $B P$ la trace sur ce plan, couché sur l'horizon, d'un autre plan qui lui est perpendiculaire et qui fait avec l'horizon l'angle $P B C$: ce plan

a pour trace horizontale la tangente BT au cercle Bb ; soit dans ce plan un second cercle tangent au cercle Bb dans le point B , ce cercle est couché sur l'horizon en BQD avec le plan qui le contient, ayant tourné autour de sa tangente BT commune avec le cercle Bb .

Si l'on suppose que ce cercle, dans sa position inclinée sur le plan horizontal suivant l'angle PBC , roule sur le cercle Bb sans changer d'inclinaison, un de ces points, celui B , par exemple, décrira dans l'espace une courbe du genre épicycloïdal, et, attendu que, dans son mouvement autour du cercle Bb , le cercle mobile est toujours dans la surface d'une sphère passant aussi par le cercle Bb , l'épicycloïde tout entière est tracée sur la surface de cette sphère, et, par cette raison, on lui a donné le nom d'*épicycloïde sphérique*. C'est une courbe à double courbure qu'on ne peut représenter que par ses projections. Sa projection horizontale est nécessaire pour projeter les formes des dents sur les plans des roues.

Projection de l'épicycloïde sphérique. Supposons que la courbe Bmk , fig. 10, est la projection de l'épicycloïde sphérique qu'il s'agit de construire : si l'on compare la position du cercle mobile lorsqu'il se trouve au point de contact b , et que le point de sa circonférence, parti du point B , est arrivé au point projeté en m , avec celle du même cercle rabattu sur le plan de l'horizon, on voit que le point m , qui appartient au cercle mobile, quand il est parvenu au point de contact b se trouve en M , le cercle mobile dans cette position s'étant appliqué sur le cercle horizontal en bvd ; dans ce mouvement le point m a décrit un arc de cercle projeté sur la ligne mM parallèle à la ligne bd , ou perpendiculaire à la tangente bt autour de laquelle ce cercle a tourné pour s'appliquer sur l'horizon. Il est évident que le point M du cercle bvM est un point de l'épicycloïde plane BMK , car l'arc bvM de ce cercle est aussi l'arc du cercle incliné qui a roulé sur le cercle Bd , ce qui fait voir que la projection de l'épicycloïde sphérique se déduit de l'épicycloïde plane en menant par les points de celle-ci des parallèles aux diamètres du cercle générateur dans les positions qui conviennent à ces points. Ainsi, soit BMK l'épicycloïde plane qui a été tracée par le point B du cercle BQD ; soit PBC l'angle que fait ce cercle avec le plan horizontal, lorsque son point B trace l'épicycloïde sphérique, on demande le point de cette épicycloïde qui répond au point M , par exemple, de l'épicycloïde plane BMK .

Par le point M on trace une parallèle Mm au diamètre db du cercle mobile dont le point M fait partie; cette parallèle Mm est la projection de l'arc de cercle décrit par le point M quand le cercle dMb se relève pour prendre la position qu'il a lorsque, étant au point de contact b , il trace le point m de l'épicycloïde sphérique.

Par un arc de cercle décrit du centre C avec le rayon CM , le point M est rapporté en Q , l'ordonnée Qx étant tracée, le point x est rapporté en m' dans le plan projeté sur BP , puis projeté en n sur le diamètre BD , l'on fait Mm égal à xn ou $tm = sn' = Bn$, et le point m est le point de l'épicycloïde sphérique. Cette construction donne le moyen de tracer une épicycloïde sphérique, sans qu'il soit même besoin de tracer complètement l'épicycloïde plane, et seulement en faisant les constructions indispensables pour obtenir ses points.

Tangente à l'épicycloïde sphérique. Soit, fig. 2, pl. CXLVIII, dans un plan de projection, que je choisis horizontal pour la facilité de l'explication, un cercle fixe ABa dont le centre est en G ; soit un plan de projection verticale ayant pour trace la ligne GT , ce plan étant couché sur l'horizon, la droite Gs est, dans ce plan vertical, l'axe du cercle ABx .

Soit un autre cercle perpendiculaire au plan vertical ayant pour trace sur ce plan la ligne dB , qui est aussi son diamètre, et qui fait avec l'horizon l'angle dBG . Ce cercle touche le cercle ABx dans le point B . Rabattant sur le plan horizontal en tournant autour de sa tangente ii au point B commune au cercle ABx , il est marqué plein en $DM'B$, son diamètre est la ligne BD . Rabattant également sur le plan vertical en tournant autour de la ligne Bd qui est sa trace et son diamètre, il est tracé ponctué en dmb .

Si ce cercle se meut autour du cercle horizontal ABx sans cesser de le toucher, et faisant toujours avec lui le même angle constant DBG , un point M' ou m de sa circonférence décrira une épicycloïde qui est projetée horizontalement en xyz , et qui se trouve tracée sur la surface de la sphère dont le centre est au point c , intersection de l'axe Gs du cercle fixe, et de l'axe oc du cercle mobile. Le cercle fixe et le cercle mobile, dans quelque position qu'ils se trouvent, appartiennent tous deux à cette surface de sphère, sur laquelle l'épicycloïde sphérique est tracée. Pour le cas que représente la figure, j'appellerai cette sphère *grande sphère*.

Il suit de cette génération de l'épicycloïde sphérique, qu'une tangente dans l'un des points de cette courbe projeté en M est dans le plan tangent à la grande sphère dans ce point; mais le point de l'épicycloïde étant sur le cercle mobile en M' ou en m dans sa position lorsqu'il touche le cercle fixe en B , se meut, en passant à une position infiniment voisine, pour tracer l'épicycloïde, dans la surface d'une sphère dont le centre est au point de contact B , et dont le rayon BM' ou Bm est projeté horizontalement en BM : j'appelle cette sphère *petite sphère*. Sa grosseur est variable comme son rayon qui dépend de la position du point projeté en M .

La tangente à l'épicycloïde sphérique est aussi dans le plan tangent à cette

petite sphère, ainsi la tangente à l'épicycloïde sphérique au point projeté en M est l'intersection de deux plans qui touchent chacun une sphère dont on connaît le centre, le rayon et le point de contact projeté en M , qui se trouve être un point commun aux deux sphères.

Le plan tangent à la petite sphère du rayon $B M$ ou $B m$ est perpendiculaire à ce rayon; il a pour trace sur le plan du cercle mobile la ligne $M' D$ ou $m d$, suivant que l'on considère le cercle mobile rabattu sur le plan horizontal ou sur le plan vertical, et sur ce plan vertical la trace de ce plan tangent est la perpendiculaire $d s$ à l'extrémité du diamètre $B d$; vu que ce diamètre contient la projection du rayon $B m$ de la petite sphère lorsque le plan du cercle mobile est la position perpendiculaire au plan vertical, et que, par conséquent, le rayon $B m$ de la petite sphère se projette en $B n$ sur $B d$ (1); ce qui fait voir que la tangente à l'épicycloïde sphérique coupe toujours le plan vertical dans la ligne $s d T$ élevée à l'extrémité du diamètre du cercle mobile répondant à son point de contact B , quelle que soit sa position.

Si l'on suppose maintenant que le point s , intersection de la trace $s T$ avec l'axe du cercle fixe, est le sommet d'un cône dont la base est l'épicycloïde sphérique; le plan tangent à ce cône dans sa génératrice, passant par le point m ou M' , aura pour trace cette même ligne $s T$ sur le plan vertical, et la droite $m d$ ou $M' D$ sur le plan du cercle mobile; et comme la ligne $B m$ ou $B M'$ est perpendiculaire à ce plan, il s'ensuit que le plan normal au cône à base d'épicycloïde passe par la ligne $s B$, suivant laquelle se touchent les cônes qui ont leurs sommets en s , et qui ont pour bases l'un le cercle horizontal $x B A$, et l'autre le cercle mobile, ces deux cercles se touchant toujours au point B .

Considérant maintenant la tangente à l'épicycloïde, dans le plan tangent à la grande sphère dont la surface contient l'épicycloïde et qui a son centre en c , on voit que cette tangente passant comme nous l'avons fait voir plus haut par la ligne $s d T$, elle doit passer par l'intersection du plan tangent à cette sphère avec la ligne $s d T$.

Tous les plans tangents à la grande sphère qui peuvent avoir leurs points de contact sur le cercle $B m d$ générateur de l'épicycloïde, font avec le plan de cercle le même angle; cet angle est celui $d B z$ que fait le plan tangent au point B ($B z$ est perpendiculaire au rayon $c B$ de la grande sphère).

La ligne $m p$, dans le plan du cercle $B m d$, est la même que la ligne $M' p'$ dans le plan du cercle $B M' D$; cette ligne est la tangente

(1) La trace d'un plan perpendiculaire à une ligne est perpendiculaire à la projection de cette ligne.

commune au cercle mobile et au cercle fixe quand le point m ou M est le point de contact de deux cercles.

La ligne $d p$, dans le plan du cercle $B m d$ perpendiculaire à la tangente $m p$, est la trace d'un plan passant par la ligne $d s$ perpendiculaire à cette tangente, ce plan coupe perpendiculairement les deux cercles; il mesure, par conséquent, l'angle que font entre eux le plan tangent à la grande sphère et le plan du cercle mobile. Si l'on fait tourner ce plan sur la ligne $d s$, la ligne $d p$ vient s'appliquer sur $d n$ (1), traçant par le point n la ligne $n v$ parallèle à $B Z$ l'angle $d n v$ se trouve être égal à l'angle $d B z$ que fait constamment le plan tangent à la grande sphère avec le cercle mobile. Le plan tangent à la grande sphère rencontre la ligne $s d E$ dans le point v , ce point v est donc un point de la tangente à l'épicycloïde sphérique, mettant ce point en projection horizontale en V ; la ligne $V M$ et la projection horizontale de cette tangente au point M de la projection de l'épicycloïde sphérique $x M y z$.

Formes des dents de l'engrenage conique. Si l'on suppose maintenant que le point s , fig. 2, soit le sommet commun de trois cônes, le premier ayant pour base le cercle $A B x$, le deuxième ayant pour base un cercle décrit sur $B B'$ comme diamètre, et le troisième ayant pour base l'épicycloïde sphérique projetée horizontalement en $x M y z$, dans quelque position que se trouvera le deuxième cône à l'égard du premier, autour duquel il peut rouler, la ligne de contact de ces deux cônes passera par leur sommet commun s , et par le point de contact de leur base. Si par ce point de contact on suppose encore le contact du cercle générateur de l'épicycloïde, et qu'en M soit la projection d'un point de l'épicycloïde qui répond à cette position du cercle générateur, le plan tangent au cône épicycloïdal, passant par le point s et par la tangente de l'épicycloïde au point M , passera toujours par l'axe $s d T$ du premier cône, quelle que soit la position du cône mobile autour du second cône.

D'où il suit qu'une partie de la surface du cône épicycloïdal, étant prise pour une face de l'une des dents d'une des roues coniques répondant au premier cône, la partie correspondante du plan par l'axe du deuxième cône pourra être prise pour le flanc de la dent appartenant à la roue conique répondant à ce deuxième cône, tellement que l'une mènera l'autre dans le mouvement de rotation des deux roues, et le plan normal à la surface du cône épicycloïdal et à son plan tangent, passera

(1) A cause des tangentes égales $r m$, $r d$, au cercle $B m d$, les perpendiculaires $d p$, $m q$ sont égales, et $d q m n$ est un parallélogramme rectangle, d'où il suit que $d n = m q = d p$.

toujours par l'arête de contact entre les deux premiers cônes, condition nécessaire pour l'uniformité du mouvement et la constance de la pression entre les flancs des dents d'une roue et les faces des dents de l'autre (1).

C'est d'après ces principes que doivent être construites les dents des roues d'engrenages d'angles.

Soient $S p$, $S p'$, fig. 8, 13 et 14, dans un plan vertical, les axes des deux roues coniques entre lesquelles le mouvement uniforme de rotation doit être transmis.

Soient C et C' , mêmes figures, les points où ces axes percent des plans qui leur sont perpendiculaires et qui sont rabattus sur le plan vertical; par conséquent ces points C , C' , sont les projections de ces axes et les centres des roues rabattues sur ce même plan.

Soient, dans le même plan vertical, les traces et les projections $m p$, $m p'$, des cercles primitifs des roues, lesquels cercles sont projetés sur les plans perpendiculaires aux axes; l'un pour la grande roue en $A M B$, l'autre pour la petite $A' M' B'$. Ces deux cercles sont tangents l'un et l'autre dans le point M ou M' , et à la tangente projetée verticalement au point m et horizontalement, fig. 13, sur $m M$, et figure 14 en $m M$.

La division des dents étant faite sur les cercles primitifs et dans les figures 13 et 14, nous avons supposé que la grande roue devait avoir vingt-quatre dents et la petite seize, de façon que la petite roue fera trois tours dans le temps que la grande en fera deux. L'arc $N n$ du cercle primitif $A M B$ marquant l'étendue en largeur que doit avoir une dent, les arcs $N x$, $n x$ des épicycles sphériques projetés sur le cercle primitif en $N x Y$, et $n x y$, sont les bases des surfaces coniques épicycloïdales qui forment les faces de la dent M , ses flancs sont les portions des plans passant par l'axe de la roue, et dont les traces sont les lignes $N C$, $n C$. L'étendue de ces flancs sera déterminée bientôt.

La même construction a lieu à l'égard de la petite roue, c'est-à-dire que $N' n'$ marquant la largeur d'une des dents de cette roue égale à celle

(1) Les deux cercles qui sont les bases des deux premiers cônes sont menés l'un par l'autre. La force F , qui les fait mouvoir, et dont la direction quelconque passe par leur point de contact, peut être représentée par une force f agissant dans la direction de la tangente commune. La force F peut être décomposée, par rapport à chaque cercle, en trois forces : l'une dirigée sur l'axe du cercle; la seconde, perpendiculaire au plan de ce cercle, et la troisième, dirigée suivant la tangente commune. Les deux premières sont détruites par la fixité de l'axe de rotation : la force f seule subsiste. Quel que soit le cercle par rapport auquel on fait cette décomposition de force, on trouve pour f la même valeur; les moments de cette force, par rapport aux centres des cercles sont proportionnels aux rayons de ces cercles; ainsi, quelle que soit la direction de la force F , pourvu qu'elle passe par le point de contact des deux cercles, elle est remplacée par la force f , dont les moments sont proportionnels aux rayons, le rapport de ces rayons et le point de contact ne changeant pas, la force f est constante.

des dents de la première, les épicycloïdes sphériques $N' x' Y'$, $n' x' y'$, sont les bases des surfaces coniques épicycloïdes dont une portion forme de chaque côté une face de la dent M' ; ses flancs passant par les points N' et n' et par l'axe projeté en C' , leurs traces et projections sont les lignes $N' C'$, $n' C'$.

Les points x et x' , qui marquent, fig. 13 et 14, les pointes que forment les rencontres des surfaces épicycloïdales sont rapportées sur la projection verticale en x et x' , sur le grand cercle de la surface de sphère dans laquelle l'épicycloïde est tracée. Par le point m , extrémité de l'arête $S m$ de contact entre les cônes qui ont pour bases les cercles primitifs et perpendiculairement à cette ligne, soit la droite $H h$; cette ligne est la trace d'un plan perpendiculaire à cette arête que l'on substitue à la surface sphérique pour former la face externe de la dent, parce qu'un plan est plus facile à exécuter et plus commode pour tracer qu'une surface de sphère. On construit les intersections de ce plan avec les surfaces coniques épicycloïdales; ces intersections sont projetées en $N e$, $n e$ pour la dent M , et en $N' e'$, $n' e'$ pour la dent M' .

Au moyen de la section par le plan perpendiculaire à la ligne $S m$, fig. 8, on construit un panneau, fig. 15, qui sert à tracer la face plane externe des dents. Par une section de même sorte par un plan perpendiculaire aussi à la même ligne $S m$ qui a pour trace $H' h'$ et qui marque l'épaisseur de la dent, on trace les contours $K z$, $k z$ de la face plane interne de la même dent et son panneau, fig. 16.

Nous n'avons point tracé les constructions à faire pour trouver les intersections et les deux panneaux des dents, parce qu'elles sont si faciles que nos lecteurs ne sauraient y être embarrassés, puisqu'il ne s'agit que de sections par des plans dans chaque cône épicycloïdal, ce qui ne présente pas plus de difficulté que des sections de même espèce dans des cônes à bases circulaires.

La surface conique dans laquelle les dents d'une roue sont implantées ne doit pas être rencontrée pendant le mouvement de rotation par les dents de l'autre roue. Pour tracer, d'après cette condition, les génératrices des surfaces coniques des jantes des deux roues, il faut mettre en projection verticale les points x et x' des dents; les lignes $S x$, $S' x'$, fig. 8, rencontrent en o et o' la ligne $w w'$ qui marque l'épaisseur des jantes. Les lignes $v o$, $v' o'$ sont les génératrices de ces surfaces qui reçoivent les dents.

L'épaisseur des jantes, et les génératrices $o v$, $o' v$ ainsi déterminées, on trace les détails de la charpente de chaque roue; ces détails nous paraissent assez clairement exprimés dans les fig. 8, 13 et 14. Dans la fig. 8 les jantes de la grande roue sont coupées par le plan de projection, et leurs sections ainsi que celles d'une des quatre pièces d'enrayure a de la

grande roue sont remplies par des hachures. Nous ferons remarquer que la jante R de la grande roue, formée par des surfaces coniques, peut être composée de plusieurs pièces, qu'elle est montée sur l'arbre représenté dans la projection horizontale, fig. 13, par un cercle rempli de hachures, et dans la fig. 8, par deux lignes ponctuées 1-2, 1'-2'.

A l'égard de la petite roue, vu que son diamètre est fort petit, elle est d'une seule pièce prise dans un plateau; elle est traversée par un arbre carré dont les projections ne sont marquées que par le vide qu'il doit occuper.

Plusieurs dents sont projetées mises en place, fig. 13 et 14, et nous avons indiqué des mortaises creusées dans les jantes pour en recevoir d'autres aux places indiquées par les divisions des cercles primitifs. Ces mortaises sont tracées pour leurs joues par les prolongements des flancs des dents, et elles sont limitées sur les largeurs des jantes des roues par les cercles tracés par les points i, i', j, j' , qui sont les projections des points H, H, h, h' , fig. 8.

On doit s'assurer que dans l'engrenage s'il n'y a qu'une seule dent qui puisse être engrenée, elle ne cesse pas de conduire avant qu'une autre dent soit engrenée aussi pour lui succéder dans la transmission du mouvement de rotation.

Le cercle générateur de l'épicycloïde sphérique servant de base aux surfaces coniques des faces des dents est projeté de m en p' , fig. 8, suivant son diamètre, si l'on suppose le cône, qui a ce cercle pour base, prolongé jusqu'au plan du cercle primitif AMB , fig. 13, ayant pour trace verticale pmq , fig. 8, sa trace sur ce plan est l'ellipse $MO T$. Pendant le mouvement de rotation des cercles primitifs $AMB, A'M'B'$, la trace du cône qui a pour base le cercle générateur de l'épicycloïde ne change pas, et elle est toujours l'ellipse $MO T$. Supposant une dent dans la position E et le flanc de la dent en contact de l'autre roue la touchant au point z dans le plan des axes des deux roues; si l'on prolonge en e' l'arête Sx , fig. 8, qui forme le sommet de la dent M , fig. 13, jusqu'au plan horizontal, cette arête décrit autour de l'axe vertical SC une surface conique droite dans laquelle sont tous les sommets des dents, et qu'ils ne quittent pas pendant la rotation; cette surface a pour base et trace le cercle OeG décrit avec le rayon Ce égal à pe' . Le point O dans lequel ce cercle coupe l'ellipse marque la position de l'axe d'une dent E' quand elle va cesser de toucher le flanc de la dent avec lequel elle est en contact, ce flanc ayant pour trace de son prolongement sur le plan de l'ellipse la ligne TO ; par conséquent, la ligne CO est la ligne du milieu de la dent lorsqu'elle est parvenue en E' .

L'arc EE' mesuré sur le cercle primitif et marquant l'espace parcouru

par la dent E depuis le contact moyen au point M dans le plan des axes jusqu'en E' , étant plus grand que l'écartement des dents M et M' , il s'ensuit que chaque dent sera en contact avec celle conduite longtemps encore après que deux autres dents auront été en contact dans le même plan des axes, et l'espace pendant lequel deux dents d'une roue seront engrenées avec celles de l'autre, est exprimé par le double de la différence de l'arc EE' à l'arc MM' .

Dans la construction des roues représentées par les figures 8, 13 et 14, on suppose que les dents ne traversent point les jantes des roues, par la raison que leurs queues étant taillées en coin par suite de la tendance de leurs flancs vers l'axe, on se contente de faire les mortaises également en coin suivant les patrons des dents, et assez justes pour que les assemblages n'aient aucun jeu ; les dents sont chassées à leurs places et chevillées. On tronque leurs bouts par un petit plan pour chacune, comme nous en avons indiqué en G et g pour qu'on puisse frapper dessus avec un maillet lorsqu'on les met en place.

Charpentes des roues. Les figures 4, 5 et 11, pl. CXLVIII, représentent les détails de l'assemblage de deux roues coniques qui s'engrènent à angle droit.

La figure 4 est en même temps une coupe et une projection.

La grande roue est coupée par un plan passant par les deux axes qui se coupent dans un point projeté en S : cette même roue est projetée en entier, fig. 11, sur le plan horizontal qui lui est parallèle. La petite roue est projetée, fig. 4, sur un plan parallèle aux axes, et fig. 5, sur un plan perpendiculaire à son axe ; elle est vue comme la grande roue par sa face intérieure.

Les dents sont au nombre de quarante-huit sur la grande roue et de trente-deux sur la petite, ce qui donne le même rapport pour la vitesse des roues que dans les figures 7, 13 et 14 ; mais, les roues étant plus grandes et les dents plus nombreuses, elles sont plus petites et dans une meilleure proportion.

Les jantes de la grande roue sont de quatre pièces assemblées bout à bout à plat-joint, quelquefois avec un fort goujon en bois perpendiculaire au plan du joint dont le prolongement passe par l'axe de la roue ; ces jantes sont comprises entre deux plans perpendiculaires à l'axe. Leur face interne est cylindrique concave, leur bord extérieur est formé de deux surfaces coniques dans l'une desquelles les dents sont implantées, l'autre reçoit les chevilles qui retiennent les queues ou tenons des dents dans les mortaises.

L'assemblage des jantes est consolidé par un cercle de fer sur chaque

face; les deux cercles sont fixés par des boulons communs qui traversent les jantes; les arbres sont frettés, les tourillons sont en fer.

La roue est fixée à l'arbre par deux enrayures laissant à son centre un vide carré pour l'occupation de l'arbre, et qui unissent en même temps les jantes et l'embase qui fait partie de l'arbre.

La charpente de la petite roue ne diffère de celle de la grande qu'en ce qu'au lieu d'enrayures ce sont de simples bras en croix qui unissent les jantes et qui fixent la roue à l'arbre en le traversant dans des mortaises.

§ 3. Engrenage d'angles avec dents sans flancs.

La fig. 7, pl. CXLVIII, est une coupe passant par l'axe SC d'une grande roue sur laquelle sont implantées des dents sans flancs, tracées au moyen de la *développante sphérique du cercle* que nous décrivons plus loin; le cercle primitif de cette roue a pour trace verticale la ligne pm .

La fig. 12 est la projection de cette roue sur un plan perpendiculaire à son axe; son cercle primitif est projeté horizontalement sur AMB . Cette roue fait partie d'un engrenage d'angle; la deuxième roue n'est point entièrement projetée sur la fig. 7, qui ne présente que la position de son axe $S'C'$ et la trace $m'p'm'$ du plan dans lequel se trouve son cercle primitif.

Nous n'avons projeté les dents de cet engrenage que sur la grande roue qui est vue en dessus en E du côté des dents et de la surface qui les reçoit, et en dessous en E' du côté de la face où les queues des dents dépassent la jante pour être retenues par des clefs en bois.

Les mêmes fig. 7 et 12 font voir comment la jante circulaire A est fixée à l'arbre tournant par des rayons B, D qui se croisent à angle droit et s'assemblent à entailles à mi-bois dans l'intérieur de l'arbre à huit pans projetés en C horizontalement, fig. 12, et verticalement en G , fig. 7.

Cet assemblage ne peut être exécuté qu'en faisant la mortaise qui doit recevoir le bras B de moitié plus haute que l'épaisseur de ce bras, pour qu'on puisse le passer par-dessus le bras D enmanché le premier et le descendre ensuite dans l'entaille, après quoi il se trouve assujéti par la clef F , fig. 7, qui remplit le vide de l'excédant de la mortaise.

La jante est attachée aux bras B, D par des boulons p , qui sont projetés de profil en p' dans la fig. 7.

Génération de la développante sphérique du cercle. Les figures 4 et 9, pl. CXLIX, ont pour objet de montrer la génération de la développante sphérique du cercle.

La fig. 4 est une projection verticale.

La fig. 9, une projection horizontale.

$A C B$, fig. 9, est la projection horizontale d'un cône dont la base est projetée sur $A B$, cette base étant perpendiculaire au plan de projection dans lequel se trouve l'axe $C x$ du cône.

$D C E$ est la projection horizontale d'un autre cône dont la base est projetée sur $D E$, son axe étant $C y$; ces deux cônes ont leurs sommets au point C .

$C x$ et $C y$ sont les axes de rotation de deux roues, dont les surfaces portant les dents sont comprises dans les surfaces des deux cônes $A C B$, $D C E$.

La base du premier cône est projetée verticalement, fig. 4, suivant le cercle $m n$; l'axe de ce cône est projeté sur le point c . La base du second cône est projetée verticalement suivant l'ellipse $p q$; son axe est projeté sur la ligne $c c'$.

Le cercle $O G$, tracé sur la projection horizontale avec un rayon égal aux lignes $C A$, $C B$, $C D$, $C E$, est un grand cercle d'une surface de sphère qui a son centre en C au sommet commun des deux cônes; les cercles des bases des deux cônes sont dans cette surface.

Le cercle $K L$ de la projection verticale, fig. 7, est le grand cercle vertical de la même sphère.

Si par le centre de la sphère, dont $O G$ et $K L$ sont de grands cercles, on mène un autre grand cercle, dont le plan soit tangent aux deux cônes, ce grand cercle pourra servir d'intermédiaire pour transmettre par frottement le mouvement de rotation d'un cône à l'autre, ce cercle tournant lui-même dans son propre plan et sur son centre C ; car, dans ce mouvement, les deux cônes rouleront sur son plan, leurs surfaces ayant la même vitesse de rotation que ce plan.

Pour construire ce grand cercle, dont le plan est tangent aux deux cônes, et dont la circonférence est tangente aux deux bases de ces cônes, je remarque que le plan tangent à un cône est tangent à toute sphère inscrite dans ce cône, que, par conséquent, le plan tangent aux deux cônes est tangent à deux sphères inscrites dans ces cônes. Je remarque, en outre, qu'un plan tangent à deux sphères est tangent à la surface conique qui enveloppe en même temps les deux sphères; il s'ensuit donc que le plan tangent aux deux cônes est tangent aussi à la surface conique qui enveloppe les sphères inscrites aux cônes.

Soit en x , fig. 9, le centre d'une sphère inscrite au cône $A C B$ et tangente à sa surface dans le cercle $m n$ de sa base; soit en y le centre d'une autre sphère inscrite au cône $D C E$ et tangente à sa surface dans le cercle $p q$ de sa base. Si l'on fait passer un plan vertical par les centres

x et y , sa trace sera xy ; ce plan vertical étant couché sur le plan horizontal, les cercles ABF , DEH sont les grands cercles de ces deux sphères, leur tangente commune lv est la génératrice de la surface conique qui leur est tangente en même temps à toutes deux et dont le sommet est en z , point où la tangente lv coupe la trace xy . Le plan tangent aux deux premiers cônes devant être tangent aussi à ceux-ci, passe par le centre C , sommet des deux premiers cônes, et par le point z , sommet du dernier; par conséquent, la trace sur le plan horizontal est la droite Cz , et prolongée de part et d'autre, su est le diamètre du grand cercle que le plan tangent trace dans la surface de la grande sphère qui a son centre en C .

La surface conique qui a son sommet en z touche les sphères dont les centres sont en x et y suivant des cercles projetés horizontalement sur les lignes 1-2, 3-4; par conséquent, les points 5 et 6 dans lesquels les lignes 1-2, 3-4 coupent les lignes AB , DE , sont les projections des points de contact du plan tangent aux deux cônes avec leurs bases. Ces deux points appartiennent par conséquent à la projection du grand cercle qui est dans le plan tangent aux deux surfaces coniques, et ce grand cercle projeté par l'ellipse $s-e-5-u-6-f$.

Pour construire la projection verticale de ce même cercle, il faut d'abord mettre en projection les arêtes de contact; en projection horizontale, elles sont $C5$, $C6$, en projection verticale, $C7$, $C8$, les points 7 et 8 étant les projections verticales des contacts projetés horizontalement en 5 et 6.

En faisant passer une horizontale par le point 5, on trouve qu'elle perce le plan vertical au point $5'$ qui appartient à la trace du grand cercle cherché, et la ligne $e'5'f$ est cette trace et un diamètre de ce grand cercle projeté suivant l'ellipse $e'h8fg$, qui touche le cercle mn en 7, et le cercle pq en 8.

Si l'on suppose maintenant que le plan du grand cercle tangent au cône, qui a pour base le cercle mn , se meuve sur son centre c en roulant sur la surface de ce cône, un point P de ce cercle tracera sur la surface de la sphère la développante sphérique MPQ du cercle mn , l'arc $7p$ étant égal à l'arc $7M$. Si l'on suppose que ce même plan du grand cercle roule sur la surface du cône dont la base est le cercle projeté sur pq , son même point P tracera sur la sphère la développante sphérique NPR du cercle pq .

Les deux courbes MPQ , NPR étant prises pour les bases de deux surfaces coniques dont le point C est le sommet commun, dès qu'elles seront mises en contact, elles transmettront le mouvement uniforme de rotation d'une roue conique à l'autre. Le point de contact entre les deux

courbes MPQ , $NP R$, pendant la rotation, sera constamment sur le grand cercle $e' h 7 P 8 f g$.

Construction des dents. — Pour que l'on puisse exécuter les faces des dents qui sont des proportions de surfaces coniques ayant pour base la développante sphérique du cercle, il est indispensable de projeter les dents ou plutôt les développantes qui marquent les projections de leurs contours sur un plan perpendiculaire à l'axe de leur roue, dans lequel se trouve précisément le cercle primitif $m n$ de cette roue, et qui est la base d'un des cônes d'engrenage.

La distribution des dents sur le tour de la roue étant marquée sur le cercle $m n$, fig. 4, base du cône ACB sur laquelle on veut projeter la courbe développante sphérique, soit 7 le point de contact entre le cercle $m n$ et le grand cercle tangent au cône, et soit en même temps ce point 7, le point traçant à l'origine de la courbe: le point 7 est en $7''$ sur le grand cercle que l'on a rabattu en le faisant tourner autour de son diamètre et trace verticale $e' f$; soit pris les arcs égaux 7-9 sur le cercle $m n$, et $7''-9''$ sur le grand cercle rabattu, par une parallèle au rayon 7-7'', soit ramené le point 9'' en 9' sur la projection elliptique $e' h f$ du grand cercle, ce point 9' se confondra avec le point 9 quand le grand cercle aura roulé sur le cône, et que son arc $7''-9''$ ou 7-9', qui en est la projection, se sera enveloppé sur l'arc 7-9 du cercle $m n$; il suit de là que pour avoir le point 7' de la courbe, lorsque le point 9' du grand cercle est en contact au point 9, il suffit de tracer du centre C, un arc de cercle passant par le point 9', et de décrire du point 9, comme centre avec un rayon égal à la corde 7-9', un petit arc de cercle qui coupe le premier en 7', qui est un point de la courbe 7-x-10, projection de la développante sphérique.

Si la largeur d'une dent, à sa base, est marquée sur le cercle $m n$ par l'arc 7-9, on trace par la même construction, mais symétriquement inverse, la projection de la développante 9-x-12 qui appartient à l'autre face de la dent, et cette dent se trouve projetée par le triangle curviligne 9-x-7.

Les dents de la roue, fig. 7 et 12, pl. CXLVIII, sont projetées suivant des courbes tracées par cette construction sur la surface de la sphère.

L'arc de cercle $m n$ représente le cercle désigné par les mêmes lettres, fig. 4, pl. CXLIX.

$e-7-f$ est l'arc de l'ellipse désignée par les mêmes lettres qui est la projection du grand cercle tangent aux deux bases des surfaces coniques des roues.

Les courbes axz , bxy sont tracées au moyen des constructions que nous avons indiquées ci-dessus; elles sont les projections des arêtes de la dent A qui sont dans la surface de sphère, qui a pour rayon Sm , dans laquelle sont aussi les cercles primitifs des deux roues qui servent de bases à leurs surfaces coniques.

Les deux autres courbes $a'x'z$, $b'x'y$, qui sont les projections des autres arêtes de la dent A , sont, dans la surface sphérique concentrique qui a pour rayon $S m'$, la portion $m m'$ de ce rayon marquant l'épaisseur de la dent.

Pour tailler les dents, il est plus commode de se servir de panneaux plats : le plan d'un de ces panneaux passe par le point m ; le plan du second panneau passe par le point m' . Ils sont tous deux perpendiculaires à la ligne $S m$.

Les bouts des dents sont tronqués par une surface conique qui forme un petit pan sur lequel on frappe quand on assemble la dent; cette surface a son sommet en S comme toutes celles des autres cônes.

Le triangle $S, n n'$ est la coupe du deuxième cône dans lequel se trouve la petite roue, dont je n'ai point tracé les détails.

§ 4. Engrenage d'angle avec une lanterne conique.

La figure 7, pl. CXLIX, est la coupe d'une roue conique portant des dents sur sa circonférence, et engrenant dans une lanterne, aussi conique, la roue et la lanterne ayant leur sommet commun en S .

La lanterne est projetée verticalement dans la position qu'elle doit avoir pendant l'engrenage. La ligne $p m$ est la trace verticale du plan du cercle primitif de la roue; ce cercle est projeté horizontalement, fig. 13, en $A M B$, cette fig. 13 étant la projection de la grande roue sur un plan perpendiculaire à son axe.

La fig. 14 est une coupe de la lanterne par le plan qui contient son cercle primitif dont la trace verticale est la ligne $m m'$, et qui est projetée sur le même plan en 1-2-3-4-5-6-7-8.

On suppose dans cette coupe que le plateau le plus petit de la lanterne est enlevé, ainsi que les parties des fuseaux supérieurs au plan coupant.

Le mouvement de rotation doit être transmis de l'un à l'autre axe par l'engrenage, c'est-à-dire de la roue à la lanterne, ou réciproquement, de la lanterne à la roue, comme si elles marchaient par l'effet du frottement des surfaces coniques qui se touchent dans la génératrice commune $S m$. D'après tout ce qui précède, et ce que nous avons exposé au sujet de l'engrenage d'une roue et d'une lanterne dont les axes sont parallèles, on comprendra aisément que si un fuseau de la lanterne conique était réduit à son axe, ce fuseau serait conduit par la surface épicycloïdale tracée par la génératrice de contact $S m$, fig. 7, pendant que le cône de la lanterne roulerait sur le cône de la roue.

Soit $M m'$ le cercle primitif de la lanterne tracé sur le plan du cercle primitif de la roue et en contact avec ce cercle, dans son mouvement le point

M du cercle $M m'$ tracera sur le plan du cercle primitif une épicycloïde plane Mz' , par le moyen de laquelle, suivant le procédé que nous avons indiqué page 550, on construira la projection horizontale de l'épicycloïde sphérique Mz . Cette épicycloïde sphérique étant la base d'une surface conique dont le sommet est commun avec le cône de la lanterne situé en S dans la projection verticale, il est évident que cette surface conique, en suivant le mouvement de rotation de la roue, conduira l'axe du fuseau d'un mouvement uniforme, comme si le cône de la grande roue conduisait par frottement le cône de la lanterne dans la surface duquel est l'axe de ce fuseau projeté verticalement, comme nous l'avons déjà dit, sur $S m$.

Si l'on suppose maintenant que ce fuseau, au lieu d'être réduit à une ligne droite, est un cône matériel tronqué, dont la surface a pour base un cercle dont le diamètre est $n n'$, fig. 14, et qui a son sommet en S comme les deux autres surfaces coniques, ce fuseau sera conduit par une surface conique qui aura pour base, sur la surface de la sphère, une courbe équidistante de l'épicycloïdale sphérique. Cette courbe est projetée en $M z'$, fig. 13; elle forme la base d'une des faces de la dent N ; l'autre face a pour base une courbe égale, mais symétriquement en sens contraire. L'épaisseur de la dent étant déterminée, des courbes semblables limitent la largeur des faces; elles sont dans une surface sphérique concentrique à la première et dont le rayon est plus court de toute l'épaisseur qu'on veut donner à la dent.

Dans la coupe, fig. 7, j'ai tracé en lignes ponctuées la projection verticale 1-2-3-4, 4'-3'-2'-1' d'une dent répondant à la position d'une dent tracée aussi en lignes ponctuées, seulement par sa base, dans la grande sphère 3-4-3' en projection horizontale, fig. 13.

On procède, pour exécuter les dents comme nous l'avons indiqué précédemment, en construisant des panneaux qu'on obtient aisément en les traitant comme des sections faites dans les surfaces coniques épicycloïdales : c'est un détail auquel nous ne nous arrêtons point, vu qu'il ne présente aucune difficulté.

Quoique dans cette sorte d'engrenage les faces des dents soient des surfaces coniques ayant pour bases des épicycloïdes sphériques, ces dents n'ont point de flancs, ce qui résulte de ce que les dents de la lanterne sont des fuseaux qui n'engrènent ou ne sont engrenés que lorsque leurs axes arrivent dans le plan des axes de la roue et de la lanterne, et parce qu'il y a nécessité que ses fuseaux ne touchent point les jantes de la roue qui portent les dents, on est forcé d'ajouter aux faces des dents, et dans leurs prolongements vers la jante, des faux flancs qui écartent les faces des dents de cette jante.

Ces faux flancs sont, au-delà de la surface de la jante, prolongés suffisamment pour former les tenons d'assemblage.

Les fuseaux de la lanterne sont assemblés sous l'inclinaison convenable et relevée sur l'épure, dans les plateaux d'une ou de deux pièces assemblées avec de faux tenons et maintenues par des frettes en fer. On fait quelquefois les fuseaux des lanternes en fer massif pour diminuer le frottement.

Un trou carré, percé dans chaque plateau, permet d'assembler la lanterne à l'arbre *D* qui doit la porter; une embase *E* marque sa place et reçoit le plateau inférieur. La lanterne est fixée sur une clef *G*, qui traverse l'arbre et presse sur le plateau supérieur.

Lorsque le nombre des dents de la roue est très-grand par rapport à celui des fuseaux de la lanterne, le point *S* de réunion des deux axes étant très-rapproché de la surface plane de la jante, on implante alors les dents perpendiculairement à cette surface; les prolongements de leurs *faux flancs* passent par l'axe, leurs faces sont toujours coniques épicycloïdales, leurs sommets étant au point *S*.

On fait aussi, soit entre deux roues, soit entre une roue et une lanterne, des engrenages d'angle, l'une des roues coniques étant concave, fig. 17.

Les charpentiers donnent le nom de *hérissons* aux roues qui portent des dents, et celui d'*alluchons* aux dents assemblées dans les roues.

III.

DE LA VIS ET DE SON ÉCROU.

§ 1. *Formes de la vis et de l'écrou.*

Nous avons déjà eu occasion de parler de la vis en traitant des ferrures employées dans les charpentes. La vis dont il s'agissait alors est une sorte de clou taraudé.

La vis dont il va être question est considérée comme un élément de machine propre à opérer de grandes pressions, ou à transmettre et modifier quelques mouvements.

Les vis, éléments de machines, sont en métal ou en bois; lorsqu'elles sont en métal, c'est-à-dire en fer, en cuivre ou en bronze, elles sont exécutées par les ouvriers en métaux, et notamment par les serruriers-mécaniciens. Celles en bois sont fabriquées par des tourneurs sur des

tours à vis ou dans des filières, lorsqu'elles sont d'un petit diamètre; mais, dès qu'elles ont 15 à 20 centimètres au moins de diamètre, elles sont taillées par les charpentiers, et c'est de ces dernières que nous avons à nous occuper.

La vis, comme on sait, peut être, pour sa forme, comparée à un cylindre sur lequel est enveloppé, en spirale et en relief, un prisme flexible qui occupe d'autant plus d'étendue sur la longueur du cylindre qu'il y a fait un plus grand nombre de tours.

La coupe ou base de ce prisme flexible, que l'on nomme le filet de la vis, est un carré ou triangle. Lorsque le filet est carré, il doit, en s'enveloppant par l'une de ses faces sur le cylindre, laisser entre chaque révolution, et tant qu'il s'avance, un espace égal à sa propre largeur. Lorsque ce filet est triangulaire, il ne laisse aucun espace, il s'applique par une de ses faces, et les arêtes de cette face se touchent, de façon que toute la surface du cylindre est couverte, tandis que, dans le premier cas, il n'y en a que la moitié, la face d'application du filet carré en couvrant une partie et l'autre restant découverte entre les circonvolutions du filet.

Les vis à filets carrés ne sont fabriquées qu'en métal, parce que les fibres du bois pourraient ne pas avoir assez de cohésion pour résister aux efforts que les vis éprouvent. Les charpentiers ne taillent ordinairement que des vis à filets triangulaires.

Nous verrons, chapitre XLVIII, l'usage que l'on fait des grosses vis en bois dans les verrins, les vidas, les machines à arracher les pieux; on s'en sert aussi pour les presses et les pressoirs, et dans une foule d'autres machines.

Toutes les fois qu'une vis doit exercer une pression, elle est accompagnée de son écrou. C'est de l'appui réciproque que se donnent la vis et son écrou, que l'on obtient l'effet de cette puissante machine.

On peut regarder l'écrou d'une vis comme un trou cylindrique percé dans la matière qui compose cet écrou, du diamètre total de la vis, ses filets compris, et, pour nous servir de la même comparaison, dans la paroi duquel un filet flexible égal à celui de la vis est enveloppé, et fait corps avec lui, de telle sorte que, lorsque la vis est dans son écrou, ses filets remplissent les intervalles de ceux de l'écrou, et réciproquement, les filets de l'écrou remplissent les intervalles de ceux de la vis.

La fig. 6, pl. CXLIX, est une projection verticale d'une vis *A* engagée dans son écrou *E*.

La partie *B* est la tête de la vis qui est d'une même pièce avec elle, et qui est percée de deux trous pour passer des barres ou leviers qui servent à faire tourner la vis pour en faire usage.

Cette tête de vis est garnie de deux frettes pour empêcher qu'elle se fende lorsqu'on fait effort avec les barres.

La fig. 5 est une projection de l'écrou sur une de ses faces perpendiculaires à l'axe de la vis. Le diamètre du vide central *A* de l'écrou est égal au diamètre de la vis mesuré dans les creux des filets.

Le cercle *m n* est la projection de la surface cylindrique qui contient l'arête des filets.

p est la portion apparente d'un filet à l'entrée de l'écrou.

La fig. 12 est une coupe du même écrou, par un plan passant par l'axe de la vis, suivant la ligne *x y* de la fig. 5, pour faire voir les profils des filets de l'écrou, et les projections des faces rampantes des filets dans les tours qu'il fait dans l'écrou.

§ 2. Exécution d'une vis.

Le moyen le plus exact pour faire le cylindre en bois sur la surface duquel on doit tailler une vis, c'est de l'arrondir sur le tour. Quoiqu'il soit facile de monter, dans un atelier de charpenterie, un gros tour à pointes, ou quelque équipage qui en tienne lieu; comme il peut arriver que les charpentiers n'aient pas à leur disposition des appareils suffisants pour tourner une grosse pièce de bois, il est indispensable d'indiquer comment on peut travailler un cylindre rond et très-régulier sans faire usage du tour.

On choisit une pièce d'un bois dur, tel que le chêne, le charme, l'orme, le frêne, le poirier, etc., exempte de toute détérioration et de vices quelconques. Cette pièce est d'abord équarrie avec précision, en donnant exactement à la largeur de ses faces la dimension du diamètre de la vis, de façon que la pièce équarrie, qui a la forme d'un prisme à base carrée, se trouve circonscrite au cylindre que l'on veut en tirer.

Sur chaque extrémité de la pièce, coupée et dressée perpendiculairement à son axe, à la longueur que doit avoir la vis, compris sa tête carrée, on trace le cercle inscrit au carré de l'équarrissage, et qui est la base de la surface cylindrique; tangentiellement à ces cercles, on trace des pans coupés, de façon que l'on figure à chaque bout un octogone, ayant le plus grand soin que d'un bout de la pièce sur l'autre, les pans soient exactement dégauchis, ce que l'on vérifie au moyen de deux règles. (*Voyez* tome I^{er}, page 126.)

On rencontre alors les angles des deux octogones par des droites tracées sur les faces de la pièce équarrie parallèlement à ses arêtes. On enlève le bois sur les quatre arêtes depuis l'extrémité qui doit former le bout de la vis jusqu'à la naissance de la tête, qui doit rester carrée; on convertit ainsi cette partie du prisme quadrangulaire en un prisme octo-

gonal; sur les bouts de ce prisme, et tangentiellement aux mêmes cercles qui y ont été tracés, on marque de nouveaux pans, et après avoir *rencontré* les angles des nouveaux polygones par des droites tracées sur les faces du prisme à huit pans, on enlève le bois des arêtes suivant ces lignes, et le prisme octogonal se trouve converti en prismes à seize pans; en procédant de même, on obtient un prisme à trente-deux pans, puis un à soixante-quatre, et successivement le nombre des faces se trouve doublé à chaque fois qu'on enlève les arêtes, jusqu'à ce qu'enfin les faces soient assez étroites, et les arêtes assez peu sensibles, pour que l'on puisse regarder la pièce, après qu'elle est polie, comme cylindrique; on vérifie d'ailleurs sa rondeur, en la polissant, avec un calibre, fig. 16, dans lequel l'arc *a b* a été coupé avec soin après qu'on l'a tracé avec un rayon exactement égal à celui de la base du cylindre. On fait ordinairement ce calibre en métal, et surtout en cuivre, plus facile à travailler; le trou *c* sert à l'accrocher quand on n'en fait pas usage (1).

On peut se servir aussi d'un *fuseau* en bois dur, fig. 17, pl. CXLIX, que l'on fait faire par un tourneur. Ce fuseau a l'avantage de se placer de lui-même perpendiculairement aux génératrices, lorsqu'on le présente au cylindre. Pour connaître les aspérités de la surface du cylindre, on noircit celle du fuseau, qui laisse des traces de son contact sur les inégalités trop saillantes, lorsque le contact reste marqué sur tout le contour de la pièce, c'est un signe que sa surface cylindrique est régulière.

Lorsque le cylindre dans lequel on doit tailler la vis est arrivé à sa perfection, on colle dessus sa surface une feuille de bon papier, d'une étendue suffisante, sur laquelle on a préalablement tracé l'arête du filet de vis dans chacune de ses révolutions.

La fig. 23, pl. CXLIX, représente cette feuille de papier 0-12-12'-0'; sa largeur 0-12 ou 0-12' est égale au développement du cylindre qu'elle devra envelopper lorsqu'elle y sera collée. Les lignes ponctuées *m n* sont perpendiculaires aux génératrices de la surface cylindrique; leurs écartements *m m*, *n n* sont égaux, et ils mesurent la longueur parcourue par le filet de vis à chaque révolution autour du cylindre : cette longueur est ce que l'on appelle *la hauteur du pas de la vis*. Les lignes diagonales et in-

(1) Un charpentier peut faire ce calibre lui-même. Après avoir plané une feuille de cuivre d'environ un millimètre d'épaisseur et d'une étendue suffisante, on l'attache avec trois ou quatre clous sur une planche ou sur un établi; on plante dans l'endroit où devra se trouver le centre de l'arc, un clou de cuivre sur la tête duquel on marque un point d'un coup de poinçon; puis on pose la pointe d'un compas à verge dans ce centre marqué sur la tête du clou de cuivre, et avec la seconde pointe d'acier, affûtée en burin, on coupe le cuivre bien perpendiculairement suivant l'arc de cercle *a b* exactement d'un rayon égal à celui de la base du cylindre.

clinées $m n$, tracées en traits pleins, marquent les pentes égales des filets de vis, dans chaque révolution autour du cylindre, quand la feuille de papier est collée. Les points m doivent coïncider avec les points n et les lignes pleines, par leur réunion, forment une ligne continue qui marque l'arête saillante du filet de vis.

Avec de la patience et des précautions on colle la feuille de papier avec la précision requise pour la régularité de la vis, on tient compte de l'extension du papier mouillé par la colle. Cependant quelques charpentiers préfèrent une autre méthode, qui est d'ailleurs plus conforme aux usages de l'art.

Le cylindre qui doit être taillé en vis étant exécuté comme nous l'avons décrit ci-dessus, et avec la plus grande précision, les circonférences de ses bases sont divisées en parties égales, et en même nombre, les génératrices qui répondent aux points de division homologues, sont tracées sur la surface cylindrique, elles sont marquées en 4-4', 5-5', 6-6', 7-7', 8-8', fig. 24. Ces génératrices sont divisées également avec soin sur leur longueur aux points m, m, m , etc., suivant le nombre de révolutions que doit faire le filet sur la longueur de la vis, et des cercles sont tracés sur la surface cylindrique par ces points. Ces cercles sont tracés le long du bord d'une règle en cuivre assez mince pour être flexible, et qui a pour longueur le tour du cylindre, et une grande largeur. Des lignes droites, tracées sur cette règle perpendiculairement au bord suivant lequel on trace, servent de repères pour placer la règle sur la surface du cylindre; on fait coïncider ces droites avec des génératrices.

On coupe l'autre bord de la même règle suivant une ligne qui doit faire avec ses bords le même angle que le filet de vis avec les génératrices; ainsi, par exemple, l'angle MvG' , de la fig. 23. Ce bord de la règle sert pour tracer sur le cylindre l'arête du filet par les points où elle doit couper les génératrices; on trace successivement, par ce moyen, toutes les révolutions de l'arête du filet de vis avec beaucoup de régularité et d'exactitude.

Lorsque la vis est tracée, et qu'on s'est assuré de sa précision, on taille le filet en enlevant du bois des deux côtés de la ligne qui marque son arête saillante, de manière à former les surfaces gauches dont la rencontre est l'arête creuse de la vis.

Pour se guider dans cette opération, qui doit être conduite avec adresse et prudence, afin de ne pas enlever plus de bois qu'il ne faut, on se sert du calibre, fig. 10; lorsque l'arête creuse est fouillée sur toute la longueur de la vis, on fait usage du calibre, fig. 11, pour vérifier l'exactitude et la régularité de la vis.

Quelques constructeurs ne trouvent pas les moyens que nous venons

d'indiquer suffisamment exacts, quoique pour la plupart des cas on puisse s'en contenter; nous allons indiquer deux moyens qui sont d'une exactitude aussi parfaite qu'on peut le désirer.

Soit, fig. 20, un cylindre de bois homogène *a* monté entre les deux pointes des poupées *b* d'un tour.

Soit une règle bien dressée *c* passant dans les deux mortaises percées dans ces mêmes poupées.

La fig. 19 représente cette même règle vue par le bout; les mortaises dans lesquelles elle passe sont tracées suivant la même figure; cette règle peut être serrée dans ses mortaises par deux clefs *d* qui règlent la douceur du frottement qu'il convient de lui laisser. Cette même règle est traversée dans son milieu par une tige *e* cylindrique terminée par une lame de couteau *f* qui peut, en tournant avec la tige, faire tel angle qu'on veut avec l'arête supérieure de la règle ou avec la génératrice du cylindre.

On donne une petite inclinaison à cette lame par rapport aux génératrices du cylindre, on la presse assez en poussant la tige *e* pour engager légèrement son tranchant dans le bois du cylindre, on la fixe par le moyen de la vis de pression *g*. Les choses étant ainsi disposées, si, par un moyen quelconque, on fait tourner le cylindre *a* d'un mouvement lent et uniforme, la lame, pressée par les fibres du bois auxquelles elle se présente, entraîne la règle qui la force de conserver son inclinaison, et elle trace sur le cylindre une hélice très-régulière. Par un très-léger tâtonnement, à défaut d'une épure, on parvient à régler l'inclinaison de la lame du couteau, de façon qu'après un nombre voulu de révolutions du cylindre, cette lame ait parcouru une longueur donnée sur sa surface.

Dans l'application de ce moyen à la construction d'une vis, au cylindre *a* on substitue le cylindre de la vis avec sa tête carrée; l'écartement de la règle *c* à l'axe doit être égal au moins à la moitié de la diagonale du carré de la tête.

La fig. 15 présente un autre moyen de tracer une hélice. Le cylindre *a* sur lequel on veut tracer un pas de vis tourne sur son axe qu'on incline sous l'angle qui mesure l'inclinaison du filet. Ayant attaché sur sa surface, dans un des points *b* les plus élevés, un fil chargé d'un poids *d*, et qui n'a aucune oscillation, si l'on imprime au cylindre un mouvement de rotation sur son axe, très-lent et uniforme, le fil en s'enveloppant sur le cylindre suit une hélice. On règle par divers essais l'inclinaison du cylindre, de façon qu'après un nombre de tours donné le fil en enveloppe une longueur aussi donnée; l'on tient ensuite le fil d'une couleur liquide qui marque l'hélice du pas de vis sur la surface du cylindre, en l'y enveloppant de nouveau.

§ 3. *Construction d'un écrou.*

La construction d'un écrou n'est pas aussi facile que celle d'une vis, à cause de la difficulté de porter l'œil et la main dans la cavité de ses filets, lorsque son diamètre n'est pas d'une grandeur suffisante. A moins qu'on ne puisse sans inconvénient le faire de deux pièces dont le joint serait un plan par l'axe, on a recours à un moyen qui a quelque ressemblance avec le taraudage des écrous en métal qu'on emploie sur les vis également en métal.

La fig. 6, pl. CXLIX, a pour objet de représenter la disposition de l'appareil pour le taraudage d'un écrou en bois. Nous ne donnons qu'une projection verticale, attendu qu'elle suffit pour faire comprendre comment les choses sont établies.

a a sont des montants verticaux carrés, doubles et solidement plantés dans le sol.

b est un plateau pris entre les montants qui s'y assemblent à entailles, et qui sont serrés par des boulons, comme des moises.

c c, d d sont des moises horizontales qui embrassent chaque paire de montants *a a*.

E est l'écrou; il passe par chaque bout entre les montants *a*, qui sont suffisamment écartés pour que, non-seulement la largeur de l'écrou y trouve place, mais aussi les différents coins doubles qu'on emploie pour le maintenir invariablement dans la position qu'il doit avoir. L'écrou est percé, perpendiculairement à ses faces, d'un trou du diamètre du cylindre qui contient les arêtes creuses de la vis.

Un trou du même diamètre est percé dans le plateau *b*, exactement au point qui répond au milieu de la largeur et de l'écartement des montants *a*.

F est un cylindre, très-exactement rond, du même diamètre que les trous percés dans le plateau *b* et l'écrou *E*.

Sur la surface de ce cylindre on a creusé, avec beaucoup de précision, une rainure étroite et profonde d'environ 2 centimètres; cette rainure suit la pente de l'arête creuse de la vis; elle est tracée par l'un des deux procédés que nous avons indiqués ci-dessus pour tracer l'arête saillante des filets de la vis.

Sur le plateau *b* on fixe à plat, par deux fortes vis, un guide *G* qui pénètre dans la rainure et s'y présente suivant sa pente.

Dans une mortaise percée perpendiculairement à l'axe du cylindre *F*, on place un couteau *C* dont le bout est taillé en pointe avec deux tranchants un peu inclinés pour faciliter la coupe du bois. Ce couteau est

fixé par une vis g qui le presse, ce qui permet de régler sa saillie sur la surface du cylindre F . On commencera le taraudage de l'écrou en ne donnant au couteau qu'une très-petite saillie; on fait tourner le cylindre F sur son axe, au moyen de barres ou leviers que l'on passe dans les mortaises de la tête que la figure n'indique pas; forcé par le guide G de prendre un mouvement suivant la longueur de son axe, il conduit le couteau G dans l'écrou où il ouvre d'abord un canal en hélice peu profond. Lorsque le couteau a traversé l'écrou, on le renforce dans le cylindre que l'on exhausse en le tournant, en sens contraire, assez pour replacer le couteau en lui donnant un peu plus de saillie; on le fait passer comme la première fois dans l'écrou, et l'on répète cette opération jusqu'à ce que, ayant donné au couteau toute la saillie qu'il doit avoir, le filet creux de l'écrou soit à la profondeur nécessaire pour recevoir la vis.

Dans l'axe du cylindre F , un tube cylindrique communique par un canal biais avec le couteau pour évacuer les copeaux.

Les charpentiers donnent à chaque tour creux du filet d'un écrou le nom d'écuelle; ainsi, ils disent qu'un écrou a 3, 4 ou 5 écuelles, suivant qu'il peut comprendre dans son épaisseur la hauteur de 3, 4 ou 5 filets.

§ 4. Vis sans fin.

On emploie quelquefois la vis dans des transmissions de mouvement; c'est une exception au principe que nous avons énoncé au commencement de ce chapitre, car alors les axes de rotation ne se coupent pas n'étant pas dans le même plan. Si l'angle que font les projections de ces axes sur un plan qui leur est parallèle est droit, il n'y a aucun inconvénient, dans ce mode d'engrenage, pour la transmission de la rotation entre ces axes, et il est préférable à l'augmentation d'un rouage intermédiaire dont l'axe couperait les deux premiers.

Les charpentiers ont peu d'occasions d'employer la vis comme moyen de transmission des mouvements de rotation; mais il suffit que ce moyen soit praticable en bois pour que nous le décrivions, pl. CXLIX.

La fig. 2 est la projection d'une vis dont le filet est enveloppé sur un arbre avec lequel il fait corps. b est la coupe d'une roue cylindrique en bois dentée à sa circonférence.

Les faces des dents sont des plans parallèles à l'axe de la roue. Les filets de la vis sont engendrés par une courbe telle que les contours apparents des filets de la vis, projetés sur le plan vertical, ont pour tangentes les faces des dents. En imprimant le mouvement de rotation à la vis a , les contours apparents de ses filets se meuvent en ligne droite parallèlement à son axe;

ils poussent devant eux les dents de la roue et déterminent ainsi sa rotation. Cette combinaison de transmission de mouvement est employée dans les orgues portatives, connues sous le nom d'orgues de Barbarie, et dans les serinettes. Quoique dans les exemples que nous citons le moyen de transmission soit exécuté en petit, il est susceptible de l'être en grand. Les dents, au lieu d'être taillées dans la roue, sont plantées sur sa circonférence comme des *alluchons*.

Nous avons tracé, fig. 1, une coupe par l'axe d'une vis *a* dont les filets sont engendrés par une ligne droite. Les dents de la roue *b* sont tracées par les arcs des développantes d'un cercle dont les tangentes *MD*, *MB* sont perpendiculaires aux génératrices des surfaces du filet de la vis.

On conçoit que si la roue est très-mince, elle sera menée uniformément par le filet de la vis dès qu'on imprimera à cette vis un mouvement de rotation sur son axe.

Dans la pratique on peut donner telle épaisseur qu'on veut aux dents; mais il faut les tailler latéralement par des biseaux qui réduisent autant qu'on le peut la largeur de la surface ou zone de contact avec les filets de la vis.

Dans ces deux exemples, la vis transmet le mouvement de rotation à la roue. On peut donner au pas de la vis une inclinaison telle que ce soit la roue qui transmette la rotation à la vis. Cette transmission ne peut avoir lieu que lorsque le pas de vis a une inclinaison de 30 à 40 et même 45 centièmes au moins sur les génératrices du cylindre; cette transmission est fréquemment employée pour mettre en mouvement de rapide rotation les volants régulateurs dans diverses machines du genre de celle vulgairement connue sous le nom de *tourne-broche*.

Cette transmission de mouvement ne peut être exécutée en bois, à cause de la délicatesse des dents de la roue motrice et de celle des filets, par suite de leur inclinaison.

Dans la transmission du mouvement de rotation par une vis, la normale aux surfaces d'engrenage dans leur point de contact ne peut être comprise dans un plan passant par les axes, ces axes ne se coupant point; il en résulte que la pression exercée par la vis sur la roue tend à déverser cette roue de son plan, ce qui est un grand inconvénient lorsque son axe est fort court, comme cela arrive fréquemment dans les machines, parce que cela tend à changer la direction et augmenter le frottement dans leurs supports; il en résulte aussi un accroissement de frottement dans les contacts d'engrenages dans les directions qui ne passent point par les axes; par ces motifs, on prescrit comme une règle dans la transmission par engrenages, que les axes de rotation des roues soient toujours dans le même plan.

IV.

TRANSMISSION DU MOUVEMENT DE ROTATION AU MOYEN D'UNE SPHÈRE.

La fig. 22, pl. CXLIX, est une projection sur un plan passant par deux axes qui se coupent au centre f d'une sphère a montée au bout d'un arbre b dont l'axe passe par le centre de cette sphère et autour duquel a lieu le mouvement de rotation.

e est une calotte hémisphérique qui enveloppe la sphère à une très-petite distance de sa surface, de façon que la surface convexe de la sphère et la surface concave de la calotte sont parallèles et concentriques.

Cette calotte est montée sur un autre arbre d , dont l'axe autour duquel la rotation a lieu passe aussi par le centre commun projeté en f . Les deux arbres sont portés par leurs collets, chacun dans deux moises. Le dessin ne comprend néanmoins, faute d'espace, qu'une seule moise c pour l'arbre b et une seule moise g pour l'arbre d .

Trois cames cylindriques f, f', f'' sont fixées sur le plan de la circonférence de la calotte, leurs axes tendent au centre de la sphère et leurs prolongements pénètrent dans des rainures d'une largeur égale dans tous leurs développements au diamètre des cames; ces rainures sont creusées dans la surface de la sphère.

En imprimant le mouvement de rotation uniforme à l'arbre b et à la sphère qu'il porte, les cames, forcées de suivre les rainures de la sphère, transmettent la rotation à la calotte et par suite à l'arbre d , dans le rapport qui a servi à tracer les rainures.

Le rapport des deux rotations, dans la figure 22, a été supposé celui de 3 à 1, c'est-à-dire que l'arbre b et la sphère qui s'y trouve fixée font trois tours, et qu'ils n'en font faire qu'un seul à la calotte, et qu'ainsi dans le même temps que la sphère aura fait trente tours, elle n'en aura fait faire que dix à la calotte et à son arbre.

La figure 8 est l'épure qui sert à tracer la projection de la courbe qui forme le milieu d'une rainure sur la surface de la sphère.

Le cercle tracé en trait plein est le grand cercle de la sphère sur le plan passant par son centre et par les deux axes de rotation.

1-2 est sur ce plan la trace du grand cercle perpendiculaire à l'axe $a b$ de la sphère et qui en est l'équateur.

3-4 est sur le même plan la trace du grand cercle ou équateur de la calotte dont l'axe de rotation est c .

Supposons que le point c de la circonférence de l'équateur de la calotte soit parvenu, par le mouvement imprimé à cette calotte sur son axe, dans la position projetée en d ; il s'agit de marquer le point de la sphère qui sera, dans le même moment, au même point.

Ce point ne peut être que dans le plan du cercle de la sphère parallèle à son équateur et passant par le point d ; ce cercle a pour trace la ligne 5-6 qui est son diamètre, son centre est en g ; il est projeté sur l'équateur, rabattu, en tournant autour de sa trace 1-2, dans le cercle ponctué décrit du centre c . Le point d' est sur ce cercle la projection du point d , le rayon $c-7$ est la trace du méridien de la sphère qui passe par le point d .

Mettant en projection le point d de l'équateur de la calotte sur sa circonférence, rabattue dans le plan des axes en tournant sur sa trace 3-4, il se trouve projeté en d'' ; l'arc $n d''$ mesure l'espace parcouru sur ce même équateur par le point c pour arriver en d . Ainsi le rayon $c d''$ est la trace du méridien de la calotte qui passe par le point d ; la rotation devant être le tiers de la rotation de la sphère, il faut que le méridien de la sphère qui est parvenu au point d ait parcouru un angle mesuré sur l'équateur de la sphère par un arc triple de celui qui mesure le mouvement du méridien de la calotte qui s'est mêlé de c en d ; il faut, par conséquent, que l'arc 7-8 soit triple de l'arc $d'' n$.

Le rayon $c-8$ coupe le cercle ponctué dans le point x , qui, rapporté en x , est la projection horizontale, dans le cercle parallèle de la sphère, du point de cette sphère qui doit être au point d quand le point d de la calotte arrive au même point d .

On trouve de la même manière tous les points de la projection de la courbe à tracer sur la surface de la sphère pour la came f ; les deux autres courbes pour les cames f et f' sont les mêmes, sinon qu'elles sont de droite et de gauche de cette première à une distance de 60° . Nous ne pousserons pas plus loin cette description du tracé graphique des projections des rainures conductrices qui, d'après ce que nous venons d'indiquer, ne peut plus présenter de difficultés. Dans l'exécution de ce moyen de transmission, les lignes du milieu de chaque rainure sont piquées sur la surface de la sphère par des pointes que l'on substitue aux cames en la faisant tourner sur son axe pour lui donner différentes positions, en même temps qu'on donne à la calotte les positions analogues d'après le rapport des vitesses; par les points obtenus, on fait passer les courbes que l'on trace par parties avec une règle flexible.

Cette combinaison, lorsqu'elle est bien exécutée, transmet la rotation avec beaucoup de régularité et sans la moindre secousse.

V.

ROUES MOTRICES.

Nous donnons le nom de roues motrices aux roues qui reçoivent immédiatement l'application de la force motrice pour la transmettre, par le moyen de l'arbre sur lequel elles sont fixées, aux autres parties des machines. Nous ne pouvons entreprendre de décrire ici toutes les espèces de roues qui ont été inventées et employées avec succès, nous devons nous restreindre à l'indication de celles qui sont les plus remarquables, et qui suffiront, d'ailleurs, pour donner aux charpentiers assez de notions pour qu'ils puissent exécuter toutes les combinaisons nouvelles qui pourraient se présenter dans ce genre de construction.

§ 1. *Roue hydraulique à palettes.*

La figure 15, pl. CL, est une projection, sur un plan perpendiculaire à son axe, d'une roue à palettes; on l'a montrée telle qu'on en a construit pendant longtemps et qu'on en construit encore lorsque les courriers et les dispositions des machines ne peuvent être changées sans donner lieu à des dépenses que ne compenseraient pas assez rapidement les avantages d'un système plus moderne et mieux entendu.

Les jantes sont formées de plusieurs morceaux assemblés à entailles et boulonnées; elles sont combinées à l'arbre par des rais qui sont assemblés à tenons dans l'arbre et à entailles avec boulons sur les jantes; le tout forme une sorte d'enrayures.

Dans les courriers étroits, deux enrayures suffisent pour soutenir les aubes; pour des roues d'une grande largeur, on emploie un plus grand nombre d'enrayures.

Les aubes ou palettes sont clouées sur des tasseaux assemblés à tenons passant dans les jantes.

§ 2. *Roue Poncelet.*

La figure 2 est la projection, sur un plan perpendiculaire à son axe, d'une roue construite d'après le système de Poncelet, lieutenant-colo-

nel du génie et membre de l'Académie des sciences (1). Cette roue a été exécutée aux fonderies de Romilly, pour mouvoir des laminoirs, par M. A. Ferry, à la complaisance duquel je dois la communication de cette belle roue qui fonctionne parfaitement bien.

La figure 1 est une coupe par un plan vertical, passant par l'axe de rotation de la roue; elle en fait voir les détails de construction. Cette roue, qui a 5^m,50 de diamètre et à peu près 6 mètres de longueur, est composée de deux plateaux extrêmes comme celui *a*, et de trois plateaux intermédiaires comme celui *b*, qui divisent sa longueur en quatre parties égales.

Les plateaux sont formés de deux épaisseurs de madriers, chacune assemblée en coupe, les joints tendant au centre, les deux épaisseurs réunies par des vis à bois et des petits boulons, les joints d'une épaisseur répondant au milieu des longueurs des madriers de l'autre. Ces plateaux, découpés circulairement, forment des jantes *A*, fig. 2; ces jantes sont combinées à l'arbre *c*, au moyen de huit rayons *B*, boulonnés sur leurs faces et reçus sur la circonférence de l'arbre dans des anneaux en fonte de fer *D*, cintrés sur l'arbre au moyen de coins *c* qui remplissent l'intervalle entre l'arbre et leurs parois intérieures.

Chaque rais est maintenu dans des encastremens formés sur deux rondelles, l'une fixe en façon d'embase *G*, qui fait partie de l'anneau dans lequel passe l'arbre; l'autre mobile *F*, pour qu'elle puisse serrer les rais par le moyen des boulons qui la traversent ainsi que la rondelle ou embase fixe *G*.

Les tourillons sont en fonte, chacun *T* est fixé à l'arbre par l'intermédiaire d'une embase *M* dont il fait partie et qui est boulonnée sur l'anneau *G* dans lequel passe le bout de l'arbre. Les coins *e*, dont nous avons parlé servent à ajuster les anneaux de fonte, de façon que les plateaux soient tous exactement cintrés, les rais dégauchis, ainsi que les emplacements des aubes, et pour que la roue tourne *rondement* sur son axe.

La figure 16 est un détail des aubes courbes coupées par un plan perpendiculaire à l'axe de la roue; ces aubes sont tracées par des arcs de cercle, et elles entrent par leurs extrémités dans des rainures circulaires comme elles, creusées au rabot courbe dans les faces des jantes ou plateaux. Pour retirer les aubes assemblées dans les rainures des plateaux, ces plateaux sont eux-même retenus l'un à l'autre et deux à deux par des boulons qui les traversent sous les aubes.

Les aubes d'un intervalle ne correspondant point à celles de l'intervalle contigu, elles occupent le milieu de l'espace entre deux aubes correspondant

(1) En 1841; depuis général et décédé en 1867.

sur l'autre face ou plateau, de cette sorte les aubes entre les premier et deuxième plateaux, et celles entre le troisième et le quatrième se correspondent de même que celles entre le deuxième et le troisième, et entre le quatrième et le cinquième se correspondent aussi.

Dans la figure 2, *H* est l'eau du canal supérieur qui fournit l'eau à la roue; et *I* le canal inférieur par où l'eau dépensée s'évacue après avoir agi sur les aubes courbes; *L*, la vanne qui retient l'eau : vu la longueur de la roue, il y a quatre vannes qui répondent chacune à l'intervalle de deux plateaux. *K* est une crémaillère qui sert à ouvrir une vanne. Au moyen de deux pignons montés sur un même axe horizontal et qu'un engrenage et une manivelle font tourner, on ouvre et on ferme deux vannes à la fois. Cet engrenage est répété pour les deux autres vannes, de façon qu'on peut ouvrir et fermer simultanément les quatre vannes qui occupent ensemble toute la largeur de la roue.

m o mesure la hauteur à laquelle est fixée l'épaisseur de la veine d'eau qui agit sur les aubes. En *N* est le plancher sur lequel on manœuvre les vannes.

§ 3. Roues à tambour.

On construit des roues dont le pourtour forme une enveloppe cylindrique continue qui compose une sorte de tambour. L'écartement des enrayures est alors suffisant pour contenir un certain nombre d'hommes ou d'animaux; en marchant sur la paroi intérieure du tambour, leur poids, qui tend toujours à venir se placer sous l'axe, fait tourner la roue. Ce système de roue a l'inconvénient que la puissance, c'est-à-dire l'action des hommes ou des animaux, agit constamment sur un bras de levier fort court, en comparaison des raies de la roue, de sorte que ces roues présentent un grand appareil de charpente pour ne produire, en dernier résultat, qu'un médiocre effet.

Souvent, au lieu de former un tambour, on traverse la jante d'une enrayure unique assemblée sur un arbre par une suite d'échelons à égales distances les uns des autres et parallèles à l'axe de la roue. Des hommes montent sur ces échelons, et se meuvent le long de la jante qu'ils conservent entre leurs pieds comme s'ils gravissaient sur une échelle; leur poids tendant à les ramener au-dessous de l'axe, ils font tourner la roue et avec elle l'arbre auquel elle est fixée : on applique souvent ce moyen pour faire tourner un treuil qui sert d'arbre à la roue, et sur lequel s'enveloppe un cordage pour soulever quelque fardeau.

§ 4. Roues à bras.

La figure 3 de la planche CL représente une roue qui est mue à force de bras par les leviers dont sa circonférence est garnie. Les roues de cette espèce sont fréquemment employées en Hollande, sur des axes horizontaux, pour mouvoir des treuils sur lesquels s'enroulent des cordages ou des chaînes pour soulever de pesants fardeaux, ou pour lever les grandes vannes des écluses. Nous donnons le dessin d'une de ces roues, pour faire connaître la composition de son enrayure.

Ces sortes de roues peuvent être employées sur des axes verticaux, lorsqu'il s'agit d'appliquer un grand nombre d'hommes à les mouvoir, afin qu'ils agissent tous sur des leviers de même longueur.

§ 5. Ailes de moulins à vent.

La figure 14 de la planche CL est la projection d'une des ailes d'un moulin à vent, sur un plan perpendiculaire à l'arbre que ces ailes font tourner par l'effet de l'action du vent : l'axe de cet arbre est projeté au point *C*.

La figure 13 est une seconde projection de la même aile sur un plan passant par l'axe de l'arbre, perpendiculaire au plan précédent, et ayant pour trace, sur ce même plan, la ligne *A C*.

La trace du premier plan de projection sur le second est la ligne *A' C'*.

La figure 11 est une projection de la tête carrée de l'arbre dans laquelle passent les ailes sur un plan perpendiculaire aux deux premiers plans de projection.

L'arbre carré est traversé par deux pièces aussi carrées qui se croisent en passant l'une sur l'autre; un fragment de l'une de ces pièces est projeté, fig. 11, par les deux lignes *m n*, *m' n'*, sur la figure 14 par les deux lignes marquées également *m n*, *m' n'*.

L'autre pièce est projetée, fig. 11, par le rectangle 1-2-3-4, et sur la fig. 14 la moitié de la longueur de cette pièce au moins; celle sur laquelle est établie l'aile que nous avons dessinée est projetée suivant le trapèze très-allongé 1-2-5-6. Ces pièces sont appelées les *volants*; elles ont à leur assemblage dans l'arbre un équarrissage d'environ 3 décimètres dans les grands moulins et une longueur de 13 mètres; lorsqu'on n'a point de bois assez long, ce qui arrive le plus souvent, on allonge les *volants* par des entes que l'on assemble par un trait de Jupiter *p q* dont les écarts sont très-longs et frettés en fer.

A 2 mètres environ de chaque côté de l'arbre, on traverse le volant par une pièce *x y* nommée latte. La projection de cette latte sur la fig. 11,

est marquée en $x y$; son axe fait avec l'axe de l'arbre un angle de 60° . A l'extrémité du même volant, on établit une autre latte $x' y'$, qui est projetée en $x' y'$, fig. 11; son axe fait avec l'axe de l'arbre un angle de 80° .

On fait passer par les axes de ces deux lattes une surface gauche de la même nature que celle de la vis. Ainsi l'on suppose que les vingt-sept autres lattes que l'on distribue à des distances égales dans la longueur de l'aile, entre les deux premières, sont toutes de même longueur; on se contente de tracer leurs axes; on les met en projection sur la fig. 11 en divisant les arcs de cercle $x x', y y'$ en vingt-huit parties égales; chaque point de division donne la position d'un diamètre qui est aussi celle de la projection de l'axe d'une latte, en renvoyant les mêmes points de division sur la projection, fig. 14, aux axes des lattes de même numéro. On a les courbes qui servent d'axes aux pièces $x x' y y'$ dans lesquelles s'assemblent les lattes et que l'on nomme *cotrets*.

L'axe d'un cotret est évidemment une hélice; son équarrissage est de 8 centimètres sur 3, sa plus large face recevant les assemblages des lattes qui ont toutes $2^m,60$ de longueur; leur équarrissage est de 8 centimètres sur 4; leur face la plus large étant perpendiculaire à la surface gauche.

Dans les figures 13 et 14, le seul volant et les lattes sont des pièces droites; les cotrets sont des courbes, puisqu'ils ont pour axes des hélices. Quelquefois les charpentiers de moulins donnent une courbure aux volants dans l'espoir de mettre mieux à profit l'effort du vent.

Dans ce mode de construction, la projection sur le plan perpendiculaire à l'axe de l'arbre, fig. 14, ne change pas, mais la projection sur le plan qui lui est perpendiculaire, fig. 12, change, en ce que c'est dans ce plan que l'on donne la courbure au volant.

La projection de l'aile est déduite de la fig. 13 en projetant les axes des lattes de la fig. 12 sur les prolongements de ceux de la fig. 13, et en comptant leurs mêmes longueurs à partir de la ligne courbe qui représente l'axe du volant. Cette courbe est un arc de cercle auquel on donne pour flèche à peu près un dixième de la longueur du volant: les cotrets sont soumis à l'influence de la courbure du volant.

VI.

VIS D'ARCHIMÈDE.

Quoique la vis d'Archimède soit une machine complète, comme les charpentiers employés sur les travaux hydrauliques sont ordinairement

chargés de sa construction et de ses réparations, nous en donnons ici la description. Cette machine a été inventée il y a environ 2080 ans, par le plus grand géomètre de l'antiquité; elle est composée d'un tube qui s'enveloppe en hélice autour d'un cylindre. Lorsqu'elle est inclinée sous un angle convenable, en la faisant tourner sur son axe elle monte l'eau reçue dans ses tours de spire comme dans des augets, de la même manière qu'une vis en tournant fait marcher son écrou.

La figure 18, pl. CL est la projection verticale ou l'élévation d'une vis d'Archimède montée dans sa cage, espèce de bâti qui permet de la placer où l'on en a besoin et de la mouvoir sur son axe pour qu'elle produise son effet. La cage est composée de quatre montants a réunis par autant de traverses b que la longueur de la machine le comporte; les assemblages sont consolidés par des équerres en fer.

La figure 17 est une projection de la vis et de sa cage sur un plan dont $x y$, fig. 18, est la trace. Les traverses supérieures et inférieures c reçoivent dans leurs milieux d'autres traverses d dans lesquelles passent les tourillons en fer ajustés aux bouts de l'arbre dans son axe.

La vis est composée d'un cylindre creux construit de douves comme un tonneau, avec cette différence qu'il n'a point de bouge, c'est-à-dire qu'il est parfaitement cylindrique d'un bout à l'autre; au centre est un arbre de la même longueur que le tonneau et également cylindrique. L'espace entre les parois internes du tonneau et l'arbre est occupé par trois canaux ou tubes rectangulaires formés par autant de cloisons en surfaces gauches ayant pour génératrices de leurs surfaces des lignes droites passant par l'axe et perpendiculaires à cet axe, et pour directrices des hélices tracées sur les parois internes du tonneau. Chaque cloison est formée de planchettes minces convenablement taillées suivant le rampant des surfaces gauches et assemblées par des rainures faites sur le noyau et sur les parois internes du tonneau, suivant les mêmes hélices. En faisant tourner la vis au moyen de la manivelle D , l'eau qui est puisée par les tubes en A est dégorgée en B dans une auge C qui la conduit au point où elle doit s'écouler; cette auge est portée sur l'échafaud E contre lequel s'appuie la cage de la vis.

Des manœuvres impriment le mouvement de rotation à la vis au moyen de la manivelle D , à laquelle ils appliquent la force de leurs bras par l'intermédiaire d'une sorte de bielle à main, fig. 22, que chacun tient par son manche a , tandis que la poignée de la manivelle passe dans le trou b .

La figure 19 est une projection de la vis sur un plan vertical parallèle à son axe; une partie des douves du tonneau ont été enlevées pour laisser voir la construction de l'intérieur de la vis.

La ligne $m t$ est une tangente à la courbe que trace une cloison sur le

noyau, et la ligne $m n$ est le niveau de la surface de l'eau contenue dans l'auget compris entre deux cloisons, et qui monte en suivant le pas de l'hélice pendant qu'on tourne la vis.

La figure 20 est une coupe par un plan perpendiculaire à l'axe de la vis; ces deux figures 19 et 20 sont sur une échelle double de celle des figures 17 et 18.

La figure 8 est la projection d'une des planchettes propres à la construction des cloisons intérieures; ces planchettes se nomment des marches, à cause de leur ressemblance avec les marches d'un escalier sur noyaux.

La figure 10 est le profil d'une marche.

Les fig. 7 et 9 sont ses projections sur ses bouts.

Sur les projections nous avons marqué les traces des surfaces du dessus et du dessous de la marche pour servir à tailler les surfaces gauches.

Les figures 4, 5 et 6 sont relatives au débit du bois pour le préparer à être taillé en marches.

La fig. 6 fait voir qu'il y a économie à débiter plusieurs marches dans le même morceau, en le sciant en biais sur son fil, plutôt qu'à débiter les marches dans des planches, comme elles sont indiquées fig. 4 et 5.

Les Hollandais construisent des vis d'Archimède dans lesquelles le noyau et les cloisons qui y sont fixées tournent seuls; le tonneau, réduit à la moitié de son développement, reste immobile dans son bâti. Ces sortes de vis sont construites, comme nous l'avons indiqué fig. 21, qui est une projection sur un plan perpendiculaire à l'axe de la vis.

a est le noyau avec son axe.

b, b, b sont les trois cloisons qui y sont fixées par une bande de fer qui s'étend en hélice sur la surface extérieure des cloisons et qui se rattache de loin en loin par des bandes au noyau.

c est le demi-tonneau fixe soutenu par les membrures en charpente de son bâti. Chaque membrure se compose d'une semelle d assemblée par entailles dans les sablières g , de deux montants e et de deux courbes o formant contre-fiches; les montants sont couronnés de chapeaux h . Les membrures sont écartées de 1^m,50 les unes des autres, et leur nombre est proportionné à la longueur de la vis qui est supportée par des pieux j lorsqu'elle est en place sous l'angle convenable pour fonctionner.

CHAPITRE XLVII.

NŒUDS.

Les charpentiers font un fréquent usage de cordages dans les diverses manœuvres que l'exécution des différents genres de travaux du ressort de leur art exige.

Il est rare qu'on ait à se servir d'un cordage sans qu'il soit nécessaire de le combiner avec d'autres cordages ou avec divers objets qui font partie des manœuvres ou qui leur prêtent leur secours ou leur appui, ce qui donne lieu à des entrelacements auxquels on a donné le nom de *nœuds*.

Les nœuds sont plus ou moins compliqués et assujettis à des conditions qui dépendent du but pour lequel ils sont faits.

Un bon charpentier ne peut se dispenser de la connaissance complète des nœuds, pour faire usage de ceux qui s'appliquent le mieux aux différents cas que présentent ses manœuvres.

Nous n'avons point à faire la description de l'art du cordier, nous ne pouvons cependant nous dispenser de faire connaître la composition d'un cordage, car, bien qu'un charpentier ne puisse être chargé de fabriquer les cordes qu'il emploie, encore faut-il qu'il connaisse l'objet dont il fait un fréquent usage, qu'il combine de différentes manières, et qu'il est fréquemment obligé de décomposer et de recomposer, pour en former divers assemblages que nécessitent les nœuds.

On fabrique des cordages avec diverses matières et même avec des fils métalliques; mais ceux dont les charpentiers font usage sont toujours composés des parties filamenteuses extraites de divers végétaux, et particulièrement de la plante connue sous le nom de *chanvre*, qui produit la graine appelée *chenevis*.

Une corde est une réunion de fils formés de filaments végétaux répartis également sur sa longueur, liés les uns aux autres sans aucun nœud et par le seul effet de leur frottement réciproque produit par la torsion.

Si l'on compose un long fil de la réunion de plusieurs filaments d'une médiocre étendue, bien qu'on ait le soin de les croiser sur une grande

partie de leur longueur, ils n'ont de liaison entre eux qu'autant qu'ils sont suffisamment tortillés ensemble. La torsion, en serrant ces filaments, occasionne entre eux un frottement tel qu'ils ne peuvent glisser l'un sur l'autre dans le cours de leur longueur.

Un fil ainsi formé peut résister à une grande tension, tant qu'il est tordu; mais, dès que les filaments qui le composent sont abandonnés à leur élasticité naturelle, le fil se détord, la liaison de ces éléments est détruite, il perd toute sa force. Il a donc fallu, pour fabriquer un cordage, trouver un moyen de maintenir la torsion qui unit ses filaments élémentaires; c'est dans une seconde torsion de plusieurs fils réunis et déjà tordus, que cet important problème a trouvé sa solution, qui est la base de l'art de la corderie.

Si l'on tord séparément deux fils de même longueur au-delà de la torsion nécessaire pour l'union de leurs filaments, qu'on les place l'un à côté de l'autre en liant ensemble leurs bouts qui se correspondent, et qu'on les abandonne simultanément à leur élasticité, elle les sollicite chacun en même temps et avec la même force; il en résulte que, tournant tous deux pour se détordre, ils se tordent ensemble dans le sens inverse de la première torsion, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre leurs deux torsions, et ils forment alors un seul cordon qui ne se détordra plus.

Les cordiers ont des machines, sortes de rouets, qui leur servent à filer les matières filamenteuses qu'ils emploient en produisant une torsion qui leur permet d'agir à peu près comme les fileuses au moyen de leurs rouets, sinon que le fil des cordiers est plus gros : il a environ 2 millimètres de diamètre et il prend le nom de *fil de caret*.

D'autres machines servent à *commettre*, c'est-à-dire à réunir ces fils par un accroissement de la torsion première sur chacun, et une torsion inverse sur leur réunion, qui prend, à raison de cette seconde torsion, le nom de *bitord*. La réunion de ces trois fils se nomme *merlin*. La réunion d'un plus grand nombre de fils de caret, par le même procédé, forme des *torons*, et la réunion des torons, toujours par un commettage résultant du même procédé, forme des cordages qui prennent différents noms, suivant leur grosseur et le nombre des torons qui entrent dans leur composition. Ces noms varient suivant les lieux et les usages auxquels ces cordages sont employés; mais, en général, on donne le nom d'aussière à un cordage résultant de la commissure de plusieurs torons, et le nom de câble à un cordage résultant de la commissure de plusieurs aussières. On conçoit que des fortes torsions en différents sens que produit la commissure, il résulte que les filaments du chanvre sont tellement entortillés les uns avec les autres que leur frottement peut résister aux

plus grands efforts, et que la force de chacun de ces filaments concourt à la force de la corde, qui est la somme de toutes les forces particulières.

Les nœuds qui peuvent être faits avec des cordages, doivent être classés comme il suit :

1. Nœuds simples ou élémentaires
2. Nœuds de jointures.
3. Liens et brelages.
4. Raccourcissements.
5. Amarrages sur arganaux.
6. Amarrages sur pieux.
7. Amarrages de petits cordages, haubans et échelles.
8. Bouts de cordages.
9. Épissures.
10. Ligatures.

Les figures très-détaillées que nous donnons des différents nœuds nous dispensent, pour la plupart, de longues descriptions, et nous nous bornerons à une sorte de légende, en ajoutant néanmoins, pour ceux qui le nécessitent, les explications indispensables pour indiquer comment on les exécute.

§ 1. *Nœuds simples.*

Fig. 1 et 2, pl. CII. Ganses vues dans deux sens; la plupart des nœuds sont commencés par une ganse.

Fig. 3. Nœud simple commencé.

Fig. 4. Nœud simple fini.

Fig. 5. Nœud allemand commencé.

Fig. 6. Nœud allemand fini.

Fig. 7. Nœud en laes commencé.

Fig. 8. Le même fini.

Fig. 9. Nœud double commencé; la corde est tortillée deux fois en passant deux fois par la ganse.

Fig. 10. Nœud double vu fini, par devant.

Fig. 11. Le même, vu par le dos.

Fig. 12. Nœud sextuple commencé; la corde est passée six fois dans la ganse : on peut la passer autant de fois qu'on veut, suivant la force et la longueur qu'on veut donner au nœud.

Fig. 13. Nœud sextuple fini; on le serre en tirant la corde par les deux bouts en même temps et avec la même force.

Fig. 14. Nœud de galère; la corde ne passe pas dans la ganse; elle est retenue par un billot en bois *a* qui passe sous la corde *b*, et la soulève en s'appuyant sur les deux côtés *d*, *e* de la ganse.

Fig. 15. Boucle simple; elle sert, comme la ganse, à commencer beaucoup de nœuds.

Fig. 16. Boucle nouée commencée.

Fig. 17. Boucle nouée finie.

Fig. 18. Boucle nouée allemande; le nœud allemand simple des figures 5 et 6 est fait avec la boucle.

Fig. 19. Boucle coulante.

Fig. 20. Boucle coulante à arrêt *a*; le nœud d'arrêt est représenté écarté du nœud *b* de la boucle.

Fig. 21. Boucle coulante fixée par le rapprochement du nœud d'arrêt *a* du nœud *b* de la boucle. Lorsqu'une boucle est tordue sur elle-même, comme dans la fig. 38, elle prend le nom de clef : nous en parlerons au sujet du nœud dans lequel elle est employée, fig. 38.

Fig. 26, pl. CLII. Nœud d'agui à étalingue servant à hisser un homme dans les manœuvres.

Fig. 27. Ganse à œillet coulant *a* et à pomme d'arrêt *b* pour empêcher la boucle de se fermer.

Fig. 28. Ganse coulante à ligature.

Fig. 33, pl. CLI. Nœud à boucle terminant un cordage.

Fig. 48, pl. CLII. Ganse nouée avec ligature pour passer un autre cordage

Fig. 49. Fausse ganse dont on ne fait que très-rarement usage, dans la crainte que les ligatures se rompent.

Fig. 50. Ganse bâtarde formée d'un bout de corde, tenu au cordage par des ligatures.

§ 2. Nœuds de jointures.

Fig. 48, pl. CLI. Nœud de tisserand ouvert; on croise les bouts des deux cordes qu'on veut réunir, entre le pouce et l'index de la main gauche, la corde de droite en dessous, c'est-à-dire qu'elle touche l'index de la main gauche, on saisit le cordage de droite pour le faire passer par devant le pouce pour former une ganse en le faisant passer en arrière de son propre bout, et le ramenant sous le pouce où on le tient serré, on relève la ganse pour la rabattre par-dessus et y introduire le bout de l'autre corde, que l'on saisit seule avec ce bout qui forme alors une deuxième ganse entre le pouce et l'index de la même main droite : on serre le nœud en tirant la corde tenue dans la main droite.

Fig. 49. Nœud de tisserand fini.

Fig. 50. Nœud droit commencé.

Fig. 51. Nœud droit fini.

Ce nœud est nommé aussi *nœud de marin* et *nœud plat*. Il est très-bon dans les usages ordinaires et fait avec de petites cordes; mais dans les manœuvres, il n'est solide pour former un joint qu'autant que les bouts sont liés aux cordes dont ils font partie. Il se défait assez aisément en tirant l'un des bouts *a* pour le ramener dans la direction de sa corde *a*; il prend alors la forme représentée fig. 52, dans laquelle la corde *a* peut glisser sans obstacle dans les deux ganses formées par la corde *b*. Pour obvier à cet inconvénient, il faut fixer le bout *a* à la corde *a*, et le bout *b* à la corde *b* par des ligatures en fil de caret ou en ficelle.

Fig. 53. Faux nœud, ou nœud de vache, dans lequel les bouts ne sont point croisés symétriquement.

Fig. 54. Forme que prend le nœud dès qu'on fait effort sur les cordes; cette figure fait voir que ce nœud ne vaut rien pour les usages ordinaires. Si l'on fixe les bouts par des ligatures, elles n'ont pas la même solidité que dans le nœud droit, parce que les bouts ne sont pas complètement appliqués le long de leurs cordes.

Fig. 55, 56 et 57. Nœud appelé par les marins nœud à plein poing.

La fig. 55 le représente commencé.

Les fig. 56 et 57 le montrent fini ou serré, l'un sur une face, l'autre sur la face opposée, les cordes séparées pour être tendues.

Ce nœud s'emploie pour joindre promptement deux bouts de cordes; jamais il ne glisse ni se dénoue. Mais quand les cordes éprouvent un grand effort de traction, comme elles sont pliées très-court, il est à craindre qu'elles rompent précisément à leur sortie du nœud.

Fig. 58. Jonction par un nœud simple.

Fig. 59. Nœud commencé et non serré. On commence par faire, sur le bout d'une des cordes, un nœud simple, comme celui de la fig. 3, que l'on ne serre pas; on fait ensuite passer le bout de l'autre corde dans la première ganse du nœud commencé, et on lui fait suivre l'autre corde pour sortir avec elle de la seconde ganse. Cet enlacement fait, on tire les deux cordes, le nœud est serré. Je ne me sers point d'un autre nœud pour joindre deux cordes. Je crois être le premier qui ait fait usage de ce nœud; il a l'avantage d'être très-solide, très-facile à faire sans contraindre ni rebrousser les fils de la corde, et dans la tension il maintient les deux cordes sur le même axe à leur sortie du nœud. On peut le compléter en rapprochant les bouts des cordes par de petites ligatures *u'* et *x'* qui, au surplus, ne sont point nécessaires à sa solidité, et n'ont pour but que le bon aspect du nœud.

Fig. 60. Jonction du même genre que l'on peut faire en employant le nœud allemand simple de la fig. 5.

Fig. 61. Même jonction avant que le nœud soit serré.

Fig. 62. Joint anglais commencé.

Fig. 63. Le même joint serré, vu par devant.

Fig. 64. Le même, vu par le dos.

Fig. 65. Joint à deux ligatures; ce joint est bon, mais il est long à exécuter. (*Voyez* ci-après la description des ligatures.)

Fig. 32, pl. CLII. Joint de hauban ou nœud de hauban; il est fait au moyen de deux culs de porc. Nous renvoyons, pour l'expliquer, à l'articule cul de porc, ci-après, art. 8.

Fig. 60, pl. CLII. Joint par mariage.

a et *b*, Œillets.

c d, Mariage.

e, Ligature.

Fig. 62. Joint par rondelle; la corde *a* passe dans la boucle de la corde *b*, elle traverse la rondelle *c* où elle est arrêtée par un nœud simple.

Fig. 64. Rondelle.

Fig. 63. Joint par quinçonneau.

La corde *b* estropée le quinçonneau *e*, son bout est épissé sur elle-même et couvert d'une garniture en fil de caret; cette corde et son quinçonneau sont passés dans la boucle épissée *f* de la corde *g*.

Fig. 66. Quinçonneau figuré séparément et avant d'être estropé.

Fig. 40. Quinçonneau percé pour servir comme une rondelle.

Les rondelles et les quinçonneaux sont employés pour des joints qu'on doit établir et interrompre à volonté.

Fig. 39. Cosse en fer vue sur deux sens.

Fig. 71. Cosse en bois.

Fig. 59. Coupe d'une cosse en bois.

Fig. 65. Joint par *cosse* sphérique, chaque boucle *a*, *b* est formée par ligatures ou par épissures, et elle enveloppe la cosse *c*.

Fig. 10 et 11. Cosse vue sur deux sens pour montrer la disposition de ses gorges.

Ce joint a l'avantage de ne point fatiguer les cordes et d'éviter qu'elles se coupent mutuellement, ce qui arriverait si les boucles passaient l'une dans l'autre et se joignaient sans l'intermédiaire de la cosse.

Fig. 73. Joint par *caps-de-mouton*.

Les *caps-de-mouton* *a* et *b* sont estropés par les cordages *c*, *e*, qu'il s'agit de joindre; les petits cordages ou rides *d* qui passent dans leurs trous servent à former la jonction, et à donner, en les serrant, la ten-

sion nécessaire aux cordages. Les bouts de ces petits cordages sont liés aux cordes principales.

Le plus souvent, l'un des caps-de-mouton est tenu par une ferrure qui l'entoure au point sur lequel on veut fixer et tendre le cordage qui est ordinairement un *hauban*.

Fig. 19. Cap-de-mouton représenté par deux projections.

§ 3. Liens et brellages.

Fig. 34, pl. CLI. Nœud simple commencé.

Fig. 25. Nœud simple achevé.

Ce nœud est le même que celui de la figure 51, sinon qu'il est fait sur la même corde qui entoure et lie un objet *A*. Pour faire ce nœud, il faut que, par une pression auxiliaire produite par un aide, le premier nœud simple soit maintenu serré.

Fig. 36. Même nœud à deux boucles, vulgairement connu sous le nom de *rosette*.

Cette disposition donne la facilité de dénouer sans peine, puisqu'il suffit de tirer les bouts *a*, *b* pour défaire les boucles *c*, *d*, et réduire ce nœud au nœud simple de la fig. 34 du nœud commencé.

Fig. 37. Nœud à une seule boucle qui donne également la facilité de dénouer.

Lorsqu'on fait le nœud droit sans boucles ou avec boucles, il faut avoir attention de passer les boucles exactement comme dans le nœud droit simple, autrement on ferait un nœud de vache ou rosette de vache qui n'a aucune solidité.

Fig. 38. Nœud coulant sur double clef.

Nous avons déjà dit que la clef est une boucle tordue sur elle-même; la clef est double ou triple lorsqu'elle est tordue deux ou trois fois. Cette torsion a pour but de retenir le bout engagé sous la corde par frottement sur la corde et sur l'objet enveloppé. Ce frottement augmente avec la pression que le nœud coulant produit dans les tours de clef; il est tel qu'aucune force ne peut faire *déraper* la clef.

Fig. 39. Nœud coulant à boucle sur deux brins.

Fig. 40. Nœud coulant sur deux brins avec nœud d'arrêt qu'on ne peut dénouer sans l'épisssoir, fig. 34 et 39, pl. CLII.

Fig. 41. Nœud coulant sur deux brins avec nœud d'arrêt à boucles coulantes qui donnent le moyen de dénouer en tirant les deux bouts de la corde.

Fig. 42. Nœud coulant fixé par un nœud allemand.

Lorsqu'on veut ceindre un objet par un nœud coulant, il faut, avant de serrer le nœud coulant, passer sous le cordage le bout qui doit faire le nœud d'arrêt, vu qu'on ne pourrait pas le passer lorsque le nœud coulant est serré.

Fig. 43. Nœud tors simple.

La torsion que l'on donne aux deux bouts de la corde, dans cette disposition, produit entre eux et l'objet un frottement tel que ce nœud peut rester assez de temps pour faire le second nœud tors simple qui complète la ligature.

Fig. 44. Nœud tors double qui est employé pour qu'on puisse le faire sans aucun aide pour maintenir le nœud.

Fig. 46. Ligature dite nœud d'artificier.

Ce nom lui vient de ce qu'il est employé par les artificiers pour former les ligatures des artifices, parce que, dès qu'il est serré, il ne peut plus se desserrer par suite du grand frottement éprouvé par les bouts du cordage.

Fig. 45. Disposition des ganses dans le nœud d'artificier quand on peut le préparer de cette manière avant de le passer sur l'objet à lier.

Fig. 47. Nœud d'artificier double qui serre avec plus de stabilité.

Le nœud de bombardier, que nous n'avons point figuré, ne diffère du nœud d'artificier qu'en ce que les bouts du cordage sont croisés en nœud simple, avant de sortir de dessous la ganse qui les croise, fig. 46.

Fig. 6, pl. CLV. Portugaise.

On donne ce nom à la ligature qui réunit deux bigues égales pour faire usage comme d'une chèvre; ce lien doit être assez serré pour qu'aucune des deux bigues ne glisse sur l'autre. La combinaison de ces deux bigues donne le moyen de rendre le nœud invariable.

Les fig. 4 et 5 montrent ce nœud commencé.

Dans la fig. 4, les deux bigues sont projetées l'une sur l'autre sur le plan perpendiculaire au plan de la fig. 5; dans cette figure, elles sont projetées à plat l'une à côté de l'autre sur le plan du dessin.

Une ligature simple formée de plusieurs tours d'un cordage de moyenne grosseur les enveloppe; les bouts des cordages sont tordus et enlacés dans les derniers tours; lorsque la ligature est faite, on écarte les bigues en les croisant à la manière d'une croix de Saint-André. Par ce moyen, la ligature sert fortement les deux bigues; pour achever de la consolider, on l'entoure d'un collier fait de plusieurs tours d'un petit cordage passant entre les bigues et dont les bouts sont noués.

Fig. 7. Brellage à garrot.

Les brellages sont des sortes de liens employés pour réunir ou assembler des pièces de bois.

a, Brellage commencé.

On fait plusieurs tours de cordage autour des pièces de bois à breller; les bouts sont arrêtés en les passant sous ces tours.

b, Brellage achevé.

On a passé le bout d'un bâton cylindrique *m n* appelé garrot, sous le brellage commencé; on a peu serré le brellage, afin de laisser le passage du garrot, et qu'il puisse remplir son office.

Le garrot est tourné de façon qu'en passant par-dessus le brellage, il tourne ensemble tous ses tours; en tournant ainsi le garrot *m n*, sur lequel on agit comme sur un levier, on serre autant qu'on le veut le brellage. Lorsqu'il est suffisamment serré, on attache le plus long bout du garrot à un point fixe par le moyen d'un cordon *p q*, afin qu'il ne se détourne pas. Il faut avoir attention de ne pas tourner le garrot un plus grand nombre de tours que celui nécessaire à la solidité du brellage, un excès de torsion romprait tous les liens.

Lorsque la sécheresse fait lâcher le brellage, on resserre un peu le garrot en lui faisant faire le nombre de tours ou la partie de tours que le raffermissement du brellage exige.

§ 4. Raccourcissement.

Il arrive fréquemment que, dans le cours d'une manœuvre, l'étendue d'un cordage est trop considérable et que sa réduction immédiate est nécessaire sans cependant le couper; les nœuds de raccourcissement ont cette réduction pour objet.

Fig. 22, pl. CLI. Boucle double pour commencer le nœud tressé.

Fig. 23. Nœud tressé ou tresse.

On fait ce nœud en tordant alternativement d'un demi-tour sur la droite et d'un demi-tour sur la gauche les deux cordons *a* et *b*, et en passant entre eux, à chaque torsion, le cordon *c*.

Fig. 24. Nœud de chaînette ou chaînette.

Ce nœud est composé d'une suite de boucles passées l'une dans l'autre; la dernière est toujours faite en passant la corde dans la boucle précédemment formée. La chaînette peut être terminée par un nœud d'arrêt qui consiste à passer complètement la corde dans la dernière boucle; on peut l'arrêter aussi par un billot comme dans le nœud de galère, fig. 14.

Fig. 25. Nœud de chaînettes doubles.

Fig. 26. Le même tendu.

Ce nœud s'exécute par des ganses successives, formées en passant alternativement à droite et à gauche le bout de la corde dans la pénultième ganse.

Fig. 66. Raccourcissement à boucles et à ganses.

Ce nœud ne peut être fait que lorsqu'un bout du cordage est libre.

Fig. 67. Raccourcissement à nœud de galère.

Ce raccourcissement peut être fait quoique aucun des deux bouts du cordage ne soit libre.

Fig. 68. Raccourcissement par double boucle, avec ligatures.

Fig. 69. Raccourcissement par double boucle, passant dans des nœuds.

Le raccourcissement ne peut être pratiqué que si l'un des bouts est libre.

Fig. 70. Raccourcissement à jambes de chien.

Ce raccourcissement peut se faire, quoique les bouts ne soient point libres; mais il est dangereux, parce que les ganses *a* ou *b* peuvent faire plier les jambes de chien *d* ou *e*, et alors elles échappent ou dérapent. Pour le consolider, il faut fixer les jambes de chien aux cordes en *x* et *y* par des ligatures en bonne ficelle.

Fig. 73. Nœud à jambes de chien que j'arrête en galère; ce qui dispense des ligatures.

Fig. 74. Nœud plein, sur trois brins, qui forme deux boucles.

Ce nœud ne peut être fait que lorsqu'un des bouts du cordage est libre.

§ 5. *Amarrages sur arganœaux.*

Les arganœaux sont de gros anneaux après lesquels on amarre ou attache les cordages par un bout, pour retenir les objets auxquels ils sont fixés par l'autre bout.

Fig. 27, pl. CLI. Amarre en tête d'alouette.

Fig. 83. Tête d'alouette avec ligature.

Fig. 84. Tête d'alouette croisée.

Fig. 28. Amarre en tête d'alouette à double ganse.

Fig. 29. Amarre en tête d'alouette sur boucle de galère; cette amarre a l'avantage qu'on peut désamarer subitement en enlevant le billot qui constitue le nœud d'alouette.

Fig. 30. Tête d'alouette triple.

Fig. 31. Amarre en boucle simple, à nœud de galère.

Fig. 32. Amarre par nœud coulant croisé.

Fig. 71. Nœud pour amarrer sur deux anneaux : on le nomme, dans l'artillerie, nœud de prolonge.

Fig. 81. Amarre à nœud coulant sur boucle.

- Fig. 82. Nœud de cabestan.
 Fig. 72. Nœud de cabestan à clef.
 Fig. 23, pl. CLII. Etalingure ou entalingure coulante à nœud marin.
 Fig. 24. Etalingure ou entalingure fixe.
 Fig. 75 et 76, pl. CLI. Nœud de marine.
 Fig. 77 et 78. Nœud de réverbère.
 Fig. 79. Amarre à nœud coulant simple.
 Fig. 80. Amarre avec ligature.

§ 6. *Ammarrages sur pieux.*

- Fig. 56, pl. CLII. Amarre simple à ligature.
 Fig. 61. Amarre en tête d'alouette à nœud coulant.
 Fig. 53. Nœud de batelier.
 Fig. 55. Amarrage à clef.
 Fig. 74. Amarrage à chaînette.
 Fig. 72. Amarrage à chaînette double.
 Fig. 67. Amarrage à cloches.
 Fig. 57. Amarrage à boucle; on peut amarrer et désamarrer sans défaire la ligature de la boucle.

L'amarrage s'établit en faisant suivre à la longue boucle le contour indiqué par les chiffres 1-2-3-4-5, et se terminant par la boucle 6-7-6, que l'on passe en dernier lieu sur la tête du pieu *A* : l'amarrage se termine en serrant ses tours en sens inverse.

Pour démarrer, on donne du lâche au câble et à ses tours, jusqu'à ce qu'on puisse repasser la boucle 6-7-6 sur la tête du pieu *A*, et l'on défait les tours dans l'ordre 5-4-3-2-1 inverse de celui sur lequel on les a faits.

Fig. 68. Amarrage carré; lorsqu'on a fait suivre au câble autour du pieu *A* et de la traverse *C* sans croiser le câble, les contours dans l'ordre 1-2-3-4-5-6-7, on attache le bout par une ligature.

Fig. 70. Amarrage croisé; les contours du câble passant devant le pieu *B* sont croisés derrière la traverse *C*, suivant l'ordre 1-2-3-4-5-6-7-8, le bout 8 est fixé au câble.

§ 7. *Amarrage de petits cordages.*

Fig. 51, pl. CLII. Amarrage à chevillots; *a*, chevillots ou *cavillots*; *b*, petit cordage fixé par un amarrage croisé.

Fig. 52. Taquet à corne fixé avec des vis ou des clous rivés sur une lisse en bois pour amarrer des petits cordages.

Fig. 47. Taquet à cornes pour être fixé sur un cordage.

Fig. 43. Le même taquet fixé par trois ligatures sur un cordage.

Fig. 44. Le même taquet portant l'amarrage d'un petit cordage.

Fig. 42. Amarrage variable; en redressant le billot *a f* horizontalement, on peut le faire glisser le long du cordage *b*; en le haussant ou le baissant, on monte ou l'on abaisse le poids *c*, le cordage *b* passant sur les deux poulies *d*; dès que l'on abandonne le billot *a f*, auquel le cordage est fixé par un nœud *f*, il prend la position inclinée indiquée dans la figure : le frottement qui en résulte dans le trou *e* où passe le cordage *b*, suffit pour fixer le billot *a f* et maintenir le poids *c* immobile.

Fig. 45. Billot *a f* de la figure précédente, figuré sur une des faces dans lesquelles il est traversé par les deux trous qui reçoivent la corde d'amarrage variable.

Fig. 46. Manœuvre courante sur câble.

Fig. 54. Pomme gougée de la fig. 46.

Fig. 31. Amarrages simples sur cordage.

Fig. 41. Amarrage à chaînette.

Fig. 37. Amarrage d'un levier sur un cordage.

Ces trois amarrages sont employés pour haler sur un gros cordage, et appliquer à cette manœuvre les efforts de plusieurs hommes.

Fig. 1, pl. CXXV. Nœud d'échelon, vu de face.

Fig. 2. Le même vu de profil.

Fig. 3. Le même, avant d'être serré.

Fig. 4. Fragment d'une échelle de corde à deux brins; les échelons sont fixés par le nœud des figures 1 et 2.

Fig. 12. Deux bouts d'échelons garnis de roulettes pour éloigner l'échelle des corps contre lesquels elle est appliquée.

Fig. 13. Fragment d'une échelle à un seul brin; des billots tiennent lieu d'échelons.

Lorsqu'on traverse plusieurs haubans fortement tendus par des cordages plus minces, qui leur sont amarrés par demi-clefs; ces cordages, nommés *enfléchures*, forment des échelons qui servent à monter le long des haubans.

§ 8. Bouts de cordages.

Lorsqu'on fait un fréquent usage du bout d'un cordage, ses torons se séparent et se détordent, et l'on ne peut plus s'en servir. Pour prévenir cette dégradation, on emploie plusieurs moyens, suivant le service auquel le cordage est employé.

On peut se contenter de lier ensemble les torons par une ligature simple, fig. 21, pl. CLV, consistant en plusieurs tours de ficelle très-serrés, et dont les bouts sont rentrés dans le cordage et sous les tours de la ligature.

La figure 20 montre cette ligature commencée, et le procédé mis en pratique pour que les deux bouts du cordon qui a servi à faire la ligature se trouvent pris et arrêtés sous cette ligature.

Les premiers tours de la ligature sont faits par-dessus un des bouts du cordon, qui se trouve ainsi retenu fortement : pour que le second bout soit également pris fortement sous un certain nombre de tours, on établit les derniers sur un mandrin *p* qui permet, en écartant les tours du cordon, d'insinuer son second bout en dessous. Lorsqu'on a fait un nombre suffisant de tours, et que le bout du cordon est passé, on ôte le mandrin, on serre les tours un à un, et le dernier bout est fortement tiré pour le faire rentrer complètement dans la ligature, on coupe ce qui dépasse.

Fig. 1, pl. CLII. Boucle faite en fabriquant le cordage.

Fig. 4. Double boucle également faite en fabriquant le cordage.

Fig. 5. Boucle épissée. Les torons du câble replié sur lui-même, sont entrelacés dans leurs propres tours à la manière des épissures.

Fig. 2. Queue-de-rat, qui a pour objet de faciliter l'introduction d'un cordage dans un trou étroit qu'il doit traverser.

Pour faire une queue-de-rat, on détord le cordage sur une longueur suffisante, afin d'amincir les torons en supprimant leurs fils sur leur longueur, au fur et à mesure qu'on les retord pour les commettre de nouveau, et former ainsi un cordage qui diminue de diamètre jusqu'à son extrémité, que l'on termine par une boucle en faisant rentrer les bouts des fils dans la queue-de-rat, par entrelacement, pour ne point les couper parce que la queue-de-rat serait moins solide. On la termine par une petite ligature.

Fig. 3. Queue-de-rat recouverte par un entrelacement qui a pour objet de la fortifier. Cet entrelacement est formé avec du cordage très-menu étendu le long de la queue-de-rat en l'attachant d'un bout à la petite boucle, de l'autre aux torons de la base; un autre bout de cordage passe entre ceux-ci, et forme comme une grosse toile tout autour de la queue-de-rat.

Fig. 6, pl. CLII. Ligature pour préparer le bout d'un cordage à quatre torons.

Fig. 7. Bout terminé, les torons sont noués entre eux en formant des ganses l'un sur l'autre.

Fig. 13. Autre moyen de terminer le bout en liant les torons par une

ligature de plusieurs tours de cordons, après les avoir rabattus le long du câble.

Fig. 8. Préparation pour former le bout en entrelaçant les torons.

Fig. 14. Entrelacement commencé par une passe.

Fig. 12. Entrelacement continué sur deux passes.

Fig. 9. Entrelacement terminé, mais non serré.

Fig. 17. Entrelacement serré.

Fig. 15. Le même fini, bouts étant engagés sous les torons, comme dans les épissures.

Fig. 16. Cul-de-porc commencé.

Fig. 18. Le même, les passes serrées.

Fig. 20. Cul-de-porc terminé; on passe les bouts des torons les uns dessous les autres comme s'ils étaient commis pour former un bourrelet, puis on les fait sortir dans l'axe du cordage, où ils sont réunis par une ligature et coupés égaux.

Fig. 21. Cul-de-porc en tête de mort. Au lieu de tenir les bouts par une ligature, on les enlace de nouveau, comme dans la fig. 16, l'un se trouve pris sous l'autre.

Fig. 22. Cul-de-porc à tête ou nid d'alouette; on fait ce bout sur un cordage façonné en câble, qui a un grand nombre de torons qu'on enlace au-dessus du bourrelet, de façon que les torons soient noués les uns sous les autres.

Le cul-de-porc a pour objet de former un boulon au bout d'un cordage.

Il sert aussi à unir deux cordages, comme nous en avons représenté deux, fig. 32, qui forment le nœud de hauban. Dans ces deux culs-de-porc, les torons sont croisés avant de faire les boutons; ainsi le bouton *a'* est fait avec les torons du cordage *a*, et le bouton *b'* avec ceux du cordage *b*.

Fig. 25. Nœud simple sur cordage double.

§ 9. Épissures.

On a souvent besoin d'allonger des cordages pour satisfaire aux exigences des manœuvres, et cependant les jointures deviendraient gênantes et rendraient même l'usage du cordage impossible, si elles devaient traverser des ouvertures qui ne permettraient pas le passage des nœuds que nous avons décrits dans le 2^e article ci-dessus. On a recours, dans ce cas, à un moyen de jonction que l'on a nommé épissure, probablement à cause de sa ressemblance avec des épis de blé. L'épissure forme un joint qui n'est guère

plus gros que la corde, et dans quelques cas, qui est exactement de la même grosseur.

On distingue plusieurs sortes d'épissures, suivant le mode employé pour leur exécution.

La fig. 29 est une épissure courte; elle est courte parce qu'elle occupe peu d'étendue, et qu'elle est d'ailleurs rapidement faite.

La fig. 33 est la préparation des bouts de corde, aussi bien pour faire le nœud de hauban, fig. 32, que pour exécuter l'épissure, fig. 29.

Lorsque les torons sont détordus, on approche les deux bouts du cordage l'un de l'autre, le plus serré possible, puis on passe les bouts d'un cordage entre les torons de l'autre, alternativement en dessus et en dessous, de manière à former l'entrelacement représenté figure 29. Cette épissure, qui ne manque pas cependant de solidité, n'est employée que lorsque le temps manque pour faire l'épissure longue, qui est la plus parfaite.

Fig. 30. Epissure longue; elle occupe la longueur du cordage de *A* en *B*.

On détord les torons de chacun des cordages qu'on veut joindre, sur une longueur égale à environ la moitié de la longueur que l'on veut donner à l'épissure, et l'on approche les deux cordages l'un de l'autre en passant chaque toron d'un cordage dans l'intervalle de deux torons de l'autre cordage.

La figure 36 représente l'arrangement de ces torons après cette opération.

La figure 39 représente deux torons *a* et *b*, des cordes *A*, *B*, noués ensemble, et aussi fortement serrés que possible; on détord un toron *a'* de la corde *A* sur une partie de la moitié de la longueur de l'épissure, et l'on commet, en le tordant fortement, le cordon *b'* de la corde *B* dans le vide laissé par le cordon *a'*. Lorsque le toron *b'* a joint le toron *a'*, on les noue fortement ensemble.

Cette opération est censée faite du côté de la corde *B*, où le toron *a'* de la corde *A* se trouve noué avec le toron *b'* de la corde *B*. Lorsque tous les torons sont noués ainsi deux à deux, on les entrelace dans les torons du câble. Ainsi les torons *a*, *a'*, *a''* sont entrelacés en passant alternativement en dessus et en dessous des torons de la corde *B*, et en les entortillant quelquefois : de même les torons *b*, *b'*, *b''* passent alternativement en dessus et en dessous des torons de la corde *A*, et même les entortillent quelquefois. On a soin que les passes et les nœuds ne correspondent pas à un même point; on finit par amincir les torons, afin qu'ils se perdent en les entortillant dans la masse des cordages épissés, et l'on coupe les excédants qui dépassent leur surface.

Cette épissure s'emploie pour rabouter les parties d'un cordage dont on a supprimé quelques parties détériorées.

En quelque occasion et dans quelque partie d'un cordage qu'on emploie cette épissure, elle a la même solidité que le cordage même.

La figure 38 est une épissure renflée; elle se commence comme les autres, en assemblant les cordages bout à bout, les torons de l'un passés dans les intervalles des torons de l'autre; mais on a préalablement effilé les torons comme pour la queue-de-rat, et on les commet deux à deux, les uns sur les autres, en même temps dans le cordage en les tordant fortement, et en les entortillant au moyen de l'épissoir, qui leur ouvre le passage. L'inconvénient de cette épissure est d'être plus grosse que le cordage; mais lorsqu'on la fait suffisamment longue en ne dégradant que lentement la grosseur des torons, elle a une grande solidité.

Fig. 34 et 35. Épissoirs; outils en bois, en corne ou en fer, qui servent à écarter les torons d'une corde pour passer et commettre ceux de l'autre.

§ 10. *Ligatures.*

Fig. 12, pl. CLV. Ligature simple, vue en dessus.

Fig. 13. La même figure vue en dessous avec son nœud.

Fig. 14. Ligature avec bouts noyés commencée; une boucle est passée sous les tours pour saisir et rentrer le bout du cordon.

Fig. 15. La même ligature achevée.

Fig. 16. Ligature à boucles noyées commencée; l'une des boucles sert à faire rentrer l'autre.

Fig. 17. La même ligature achevée.

Fig. 18. Ligature à collier, vue en dessus.

Fig. 19. La même ligature vue en dessous. Le collier a pour objet de serrer les tours d'autant plus que la tension des cordages augmente.

CHAPITRE XLVIII.

MACHINES EMPLOYÉES PAR LES CHARPENTERS.

Les machines dont les charpentiers font usage dans leurs travaux sont très-simples et en petit nombre; savoir :

- Les leviers;
- Les erics;
- Les poulies et les moutles;
- Les cabestans ou vindas;
- Les treuils;
- Les vérins;
- Les chèvres et les bignes;
- Les sonnettes à battre et à arracher les pieux.

I.

PETITES MACHINES.

§ 1. *Les leviers.*

Les leviers sont de deux espèces : les leviers à main et les barres. Le levier à main est une petite pièce de bois, ordinairement de frêne, dont un bout est arrondi pour que les mains puissent s'y appliquer sans être blessées; l'autre extrémité du levier est équarrie un peu plus large dans un sens que dans l'autre, et plus mince au bout que vers le corps du levier.

Les leviers de cette espèce servent toutes les fois qu'il ne s'agit que d'un médiocre effort, soit pour soulever une pièce de bois ou tout autre fardeau, soit pour faire tourner un treuil sur son axe. Nous avons figuré un levier à main, par deux projections sous le n° 39 de la planche CLIII. Sa longueur est de 1^m,80.

Pour soulever une pièce de bois sans la faire déverser, un charpentier se place de chaque côté et embarre avec un levier, tous deux agissent également. Pour la faire avancer suivant la direction de sa longueur, la pièce

posant sur un chantier, ils embarrent les leviers faisant un angle obtus du côté où ils veulent faire avancer la pièce, puis la soulevant et agissant ensemble, ils changent l'angle obtus en angle aigu, ce qui entraîne la pièce. Ils la laissent reposer sur le chantier et recommencent la même manœuvre : on appelle le mouvement ainsi produit, *nager*.

Les grands leviers ou barres sont la plupart du temps des pièces de bois simplement équarries, leurs arêtes abattues pour qu'elles ne blessent pas les mains. Quelquefois on leur donne un équarrissage moindre aux extrémités qu'au milieu, et l'on arrondit même les bouts; mais c'est un soin superflu. C'est au moyen de ces leviers qu'on fait tourner les cabestans dont nous parlerons plus loin.

§ 2. Poulies.

Une *poulie* est une petite roue, massive ou évidée, en bois ou en métal, tournant sur un axe en fer, comprise dans une chape, et sur la circonférence de laquelle une gorge est creusée pour recevoir un cordage dont elle facilite le mouvement, lorsque la direction suivant laquelle ce cordage fait effort, en tirant, doit changer (1).

Lorsque plusieurs poulies sont comprises dans une même chape, soit sur un seul axe commun, soit sur différents axes parallèles, leur réunion se nomme moufle à cause de leur chape commune (2).

La combinaison de plusieurs poulies ou de plusieurs mouffes séparées, combinées avec des cordages, se nomme un palan.

Nous ne pouvons entrer ici dans des détails qui appartiennent à un traité de mécanique; nous nous bornons à indiquer celles de nos figures dans lesquelles des palans sont représentés; savoir :

Figure 9, planche XII; figure 3, planche CXXVIII, et plusieurs figures de la planche CXL.

(1) On fait dériver le nom de *poulie* du nom donné au même objet dans la langue anglaise, *pulley*, fait du verbe *to pull*, tirer.

La poulie était connue des anciens : les Grecs l'appelaient τροχάια, et les Romains *trochlea*.

(2) De l'allemand *muff*, *muffel*, manchon, gant.

§ 3. *Cries.*

Un cric est une machine dont on fait un fréquent usage à cause de son petit volume qui le rend maniable, d'un transport facile, et surtout à cause de sa grande puissance; nous avons représenté, fig. 1 et 2, pl. CLV, un cric ordinaire, ou cric simple, par deux projections verticales.

Ce cric est formé d'une pièce de bois *a*, qui est le corps de la machine dans laquelle glisse une forte barre de fer *b* dentée sur un de ses côtés.

Les dents de cette barre engrènent dans celles d'un pignon sur l'axe duquel est une manivelle *c*, à laquelle on applique la main pour la faire tourner; ce mouvement transmis à la barre dentée, il la fait monter ou descendre dans le corps du cric suivant le sens dans lequel on a fait tourner la manivelle.

Le haut de la barre est surmonté d'une sorte de croissant en fer tournant sur l'axe de la barre; ce croissant sert à appliquer, d'une manière solide, le cric contre les objets qu'on veut soulever. Au bas de la barre se trouve une griffe qui fait corps avec elle et saille au dehors du cric; cette griffe sert à soulever les fardeaux, en les saisissant en dessous par le point le plus bas.

Un cric est représenté fonctionnant dans la figure 8 de la planche CLV, et dans la figure 4 de la planche CLVI.

On construit des cries composés dans lesquels les engrenages accroissent la force transmise par la manivelle; ordinairement le pignon de la manivelle est engréné dans une roue dentée, et cette roue entraîne un pignon qui lui est concentrique et dont les dents engrènent dans celles de la barre; dans l'un et l'autre cric un encliquetage retient la manivelle dans la position qu'on lui a donnée, pour que le poids du fardeau ne fasse pas descendre la barre et qu'elle se maintienne à la hauteur où l'on veut l'arrêter.

On fait aussi des cries à vis dans lesquels la tige de fer est une vis sur la plus grande partie de sa longueur; elle passe dans un écrou qui lui est perpendiculaire et dont la circonférence est taillée convenablement pour qu'une vis sans fin lui soit appliquée; la manivelle est placée sur l'axe de cette vis. On produit avec ce cric un effort extrêmement grand; la puissance de ce cric peut être augmentée en lui ajoutant intérieurement des engrenages ou même une seconde vis sans fin avec sa roue.

§ 4. *Vérins.*

Le vérin est composé d'une seule ou deux vis suivant le service auquel on le destine; il sert à soulever les plus pesants fardeaux. Le plus sou-

vent on réunit plusieurs vérins pour concourir au même effet en les faisant agir simultanément; on fait agir les vis en faisant effort sur des leviers passés dans les mortaises de leurs têtes. On emploie les vérins à soulever des parties de constructions sans craindre leur dislocation, à cause de la lenteur et de l'uniformité du mouvement.

Nous avons représenté, fig. 34 de la pl. III, un vérin à deux vis, en usage dans l'exploitation des forêts; il peut servir également bien dans diverses manœuvres pratiquées par les charpentiers. Les machines à vis qui sont figurées, sous les numéros 36 et 37, pl. CLIII, comme arrache-pieux, sont des vérins qui peuvent être employés dans d'autres travaux, vu qu'ils sont construits d'après les mêmes principes.

§ 5. *Chevrettes.*

La chevrette, ou petite chèvre, est une petite machine dont les charrons, les carrossiers et ceux qui ont soin des voitures font un fréquent usage, et dont les charpentiers se servent dans quelques pays. Nous l'avons représentée en projection verticale, vue de côté, fig. 3, pl. CLV; elle est composée d'une longue pièce de bois $a b$, arrondie pour être plus maniable, qui forme le corps de la machine, d'un pied $c d$ et d'une queue ou levier $e b c$.

Le pied est projeté, fig 9, sur un plan parallèle à ses hanches.

Ces trois pièces sont unies par deux boulons b, c qui servent d'axes à leurs mouvements.

Pour faire usage de la chevrette, on engage le corps $a b$ sous l'objet à soulever, après l'avoir préalablement abaissé en relevant suffisamment le levier. Nous avons représenté la position de la chèvre en lignes ponctuées, $a b', c' d, b' c' e'$, pour soulever une pièce de bois dont le bout est figuré par le rectangle A' ; en abattant le levier, la chèvre prend la position $a b c d e$ marquée en traits pleins, et le corps A' est soulevé dans la position A .

La forme coudée du levier fait que, lorsque sa queue est appuyée contre l'épars du pied, le boulon du centre de rotation b' , qui est en avant du point d'appui c , passe en arrière de ce point en b , et la machine reste immobile; le fardeau A n'est pas soulevé d'une grande hauteur, mais on voit qu'il n'est besoin que d'un faible effort pour le soulever, et s'il faut l'élever davantage, après l'avoir calé, on répète l'opération que nous venons de décrire. On peut élever la chèvre sur des cales ou choisir sur le corps $a b$ un point d'application A'' plus rapproché du haut, ou enfin interposer une cale entre le corps A et celui de la chèvre. Une cheville A'' sert quelquefois à empêcher le corps de glisser.

II.

CHÈVRES, TREUILS ET CABESTANS.

§ 1. *Chèvre d'artillerie.*

Les chèvres sont des machines qui servent à élever les pièces de charpente à de grandes hauteurs; il y en a de deux espèces : les chèvres à pieds, qui sont imitées de celles dont on fait usage dans l'artillerie pour les différentes manœuvres de force, utiles pour placer les canons sur leurs affûts ou de lourds fardeaux sur des voitures. Nous avons représenté une chèvre de cette espèce, fig. 18, pl. CLIV, en projection sur un plan parallèle à l'assemblage de charpentes qui la compose; les pièces *a* sont les hanches, elles forment avec le sol un triangle isocèle et sont réunies par leurs sommets à plat-joint et maintenues par une bande de fer et des boulons; leurs pieds sont frottés et garnis chacun d'une pointe pour les empêcher de glisser sur le sol. Des épars *b* empêchent l'écartement et la flexion des hanches; ils sont retenus en assemblage par des clefs en bois; entre les hanches et près de la tête de la chèvre sont deux poulies sur le même axe. A la hauteur de 1^m,20 du sol est un treuil à deux têtes *c* dont les tourillons portent dans des chantignoles fixées par des boulons aux hanches, et qui, d'ailleurs, ne peuvent remonter à cause de l'inclinaison de leurs joints avec les hanches; ce treuil reçoit plusieurs tours d'un câble qui, après avoir passé sur la poulie, ou même être combiné en palan avec moufles, suspend le fardeau à enlever.

Dans la figure 21 nous avons représenté la même chèvre vue de profil et appuyée sur la pièce *d*, nommée *piéd-de-chèvre*, qui doit faire avec le sol à peu près le même angle que les hanches de la chèvre. Nous avons figuré trois hommes manœuvrant sur le treuil pour élever le fardeau *e* que nous avons supposé être une pièce de bois; deux de ces ouvriers sont chargés d'embarrer leurs leviers l'un après l'autre pour faire tourner le treuil; chacun ne doit débararrer son levier que lorsqu'il est certain que son camarade a bien embarré le sien. Le câble *f* ne faisant que quelques tours sur le treuil, il pourrait être à craindre qu'il glissât sur sa surface cylindrique et presque polie; pour éviter cet effet, qui pourrait causer de graves accidents, un homme tient le cordage en retraite *g*, comme le marque la figure 21, et la pression qu'il opère, sans employer même toute sa force, suffit et produit un frottement assez grand

pour que le treuil en tournant enroule le câble et soulève le fardeau. La manière dont la chèvre est équipée, c'est-à-dire dont le câble est disposé entre le treuil et le fardeau à soulever, fait voir que l'avantage des hommes qui agissent sur le treuil n'est exprimé que par le rapport des leviers, compté du point d'application de leurs mains au rayon du treuil. Mais on obtient une puissance beaucoup plus grande en employant seulement une poulie mobile pour suspendre le fardeau; on agit avec une bien plus grande puissance en équipant le câble en palan avec des moufles.

§ 2. *Grandes chèvres.*

La figure 15 de la planche CLIII est le dessin d'une grande chèvre de charpentier; comme la précédente, elle est composée de deux hanches *a* et d'épars *b*. Les deux hanches sont réunies au sommet par une bande de fer et des boulons; le treuil *c* est porté entre les deux derniers épars par deux poteaux parallèles *e, e'*. Cette chèvre ne s'établit point avec un pied, comme celle dont nous avons parlé dans l'article précédent, on l'appuie au besoin contre quelque partie de l'édifice près de laquelle on en doit faire usage, et le plus souvent elle est maintenue inclinée sur un angle de 75 à 80° avec l'horizon, par un câble ou hauban *E*, tracé sur la fig. 14, dans laquelle la chèvre est représentée de profil, soulevant un fardeau *d*, le treuil étant manœuvré par deux hommes.

§ 3. *Treuils simples.*

Le câble de manœuvre de la chèvre, fig. 15, pl. CLIII, que le dessin ne marque pas, souvent accroché au treuil par une boucle passée dans un crochet de fer appelé *dent-de-loup*, implanté dans le treuil. Cette méthode a deux inconvénients assez graves : le premier, c'est que si cette dent-de-loup vient à se rompre ou à se détacher, ou si la boucle n'est pas solidement épissée, le fardeau peut tomber et occasionner des malheurs; l'autre inconvénient, c'est que, si la hauteur que le fardeau doit parcourir est grande, le câble a bientôt couvert le treuil, et même lorsqu'on se sert de poulies ou de moufles équipées en palan, la longueur du câble qui doit passer sur le treuil étant égale à plusieurs fois la hauteur à laquelle le fardeau doit s'élever, il en résulte qu'il faut nécessairement que le câble double ses tours sur le treuil par-dessus ceux déjà faits; il en résulte alors un autre inconvénient : le rayon du treuil se trouve augmenté d'autant de fois le diamètre du câble qu'il y a de tours montés les uns sur

les autres, ce qui diminue la puissance des ouvriers qui agissent sur les leviers. Il est donc préférable de ne point attacher le câble au treuil et de le faire tenir en retraite par un ouvrier, comme nous l'avons indiqué dans la fig. 21 de la pl. CLIV, vu que cette méthode permet, lorsque le câble, en s'enroulant d'un côté et se déroulant de l'autre, a parcouru toute la longueur du treuil, de le reporter à l'autre bout, et pour cela on attache le câble à un des épars supérieurs, en faisant une ligature tressée avec un bout de cordage dans le genre de celle fig. 37, pl. CLII de telle sorte qu'en détournant un peu le treuil, tout le fardeau se trouve retenu par cette ligature; en donnant un peu de jeu au cordage en retraite, on reporte tous les tours formés par le câble à l'autre bout du treuil, et lorsqu'on le serre de nouveau en tendant la retraite et en agissant sur le treuil avec les leviers on peut enlever la ligature et continuer à faire monter le fardeau, sauf à répéter cette manœuvre, que l'on nomme *choquer*, lorsque les tours du câble ont de nouveau regagné l'extrémité du treuil.

§ 4. Treuils à gorges.

Pendant longtemps on a été réduit au procédé que nous venons de décrire, pour remédier à l'insuffisance de la longueur du treuil lorsqu'un grand développement du câble doit passer dessus pour faire parcourir une grande hauteur au fardeau, surtout lorsqu'on fait usage de palans équipés à un grand nombre de brins.

Depuis un siècle on s'est occupé de la recherche d'un meilleur moyen. En 1739, l'Académie des sciences proposa, à ce sujet, un prix; on présenta plusieurs combinaisons ingénieuses, mais d'une application compliquée.

En 1794, M. Cardinet, ingénieur-géographe, obtint une récompense nationale pour le moyen qu'il avait inventé et appliqué au cabestan; ce moyen consiste dans l'emploi de deux treuils parallèles dont l'intervalle est occupé par deux galets de cuivre enfilés dans un même axe et répondant à des rebords formant sur chaque treuil une gorge pour recevoir une douzaine de tours du câble. Les treuils, serrés par les tours du câble qui les enveloppe, sont obligés de tourner ensemble et avec les galets. La gorge du treuil principal est plus grande que celle du second treuil de deux épaisseurs du câble, de sorte que les rebords du second treuil sont plus larges que ceux du treuil principal, ce qui oblige le câble à s'enrouler toujours sur la même place et à repousser les tours du côté où ils se dévident. Le procédé de M. Cardinet a donné lieu à l'invention des treuils à gorges, que nous avons représentés fig. 2 de la pl. CLIV. Le

treuil supérieur *a* est terminé à chaque extrémité par une tête carrée avec mortaise pour l'usage des leviers, le treuil *b* est cylindrique dans toute son étendue; des gorges, assez larges pour recevoir chacune un tour de câble, sont creusées sur chaque treuil; il y a autant de gorges sur le treuil *b* que l'on veut faire faire de tours au câble; il y en a un de plus sur le treuil *a*. Chaque gorge d'un treuil répond à un intervalle qui sépare deux gorges sur l'autre.

La fig. 3 représente l'arrangement des tours du câble en passant dans les gorges de ces treuils; ainsi, le câble *m*, qui vient du haut de la chèvre, se loge dans la gorge 1 du treuil supérieur *a*, puis, en passant entre les deux treuils, elle va dans la gorge 1 du treuil *b*, l'entoure, et, en repassant entre les deux treuils, elle gagne la gorge 2 du treuil *a* pour revenir par devant passer entre les deux treuils, envelopper le treuil *b* dans la gorge 2, se diriger de nouveau entre les deux treuils dans la gorge 3 du treuil *a*, et ainsi de suite, allant d'une gorge à l'autre dans leur ordre 1, 2, 3, 4, en passant entre les deux treuils jusqu'à ce que enfin, après avoir passé dans la dernière gorge du treuil *a*, elle se dirige en *n* pour être prise en retraite.

On voit que, par ce moyen, quelle que soit la longueur du câble, jamais il ne peut gagner l'extrémité du treuil, étant forcé de s'enrouler et de se dérouler en passant toujours par les mêmes gorges; ce qui donne en même temps sûreté et célérité dans le service de la chèvre.

J'ai fait usage de ce perfectionnement dans le treuil, et il m'a paru qu'il n'y a rien de mieux.

Pour empêcher un frottement trop considérable contre les joues des gorges, ce qui userait le câble, on évase un peu ces gorges comme on évase celle d'une poulie, de façon que le câble puisse prendre une direction un peu biaise sans toucher leurs bords.

On nomme *bourriquet* un treuil monté entre deux chevalets en X comme sur quatre jambes; l'axe porte dans l'angle supérieur. Ces chevalets sont cloués contre des poutrelles, le treuil se manœuvrant avec une manivelle en fer fixée sur l'axe, en dehors d'un des chevalets. Ce bourriquet est en usage principalement pour les travaux de terrassement et pour extraire, verticalement dans des paniers, les terres des excavations souterraines.

Les charpentiers font usage de préférence du treuil monté dans un châssis en bois représenté par une projection verticale, fig. 4, pl. CLIV, et par une projection horizontale, fig. 5. Ce treuil se place dans les travaux sur les planchers d'échafaudage, sur les points par lesquels il est le plus commode de hisser les pièces de bois et autres fardeaux.

Lorsque les treuils sont élevés sur des assemblages en charpente, et qu'ils sont mus par des roues à tambours ou à échelons, on les nomme

singes; il y en a deux de représentés en *t*, fig. 2, et en *z*, fig. 5, pl. CXXVI.

On peut appliquer aux treuils, pour les faire mouvoir, des roues comme celle de la sonnette, fig. 4 et 6 de la pl. CLIV. Ces roues peuvent être mues par des hommes ou des animaux; on peut même appliquer aux treuils une roue dentée mue par un pignon, ou une lanterne mue par une manivelle.

§ 5. Treuil chinois ou différentiel.

Le treuil représenté fig. 7 donne le moyen de soulever des fardeaux d'une pesanteur excessive.

Ce treuil est composé de deux cylindres *a*, *e*, qui sont d'une seule pièce; leurs bouts sont terminés en têtes carrées égales avec mortaises pour l'application des leviers.

Les bouts du câble sont enroulés chacun sur un cylindre; le poids *p* est suspendu au câble, qui se trouve double, par l'intermédiaire d'une poulie *r*, et ses deux parties *b*, *d* portent chacune la moitié de la pesanteur du fardeau. Si l'on applique l'action des leviers à ce treuil pour le faire tourner de manière que la partie *b* du câble s'enroule sur le plus gros treuil *a*, le fardeau tend à être soulevé, mais en même temps le câble *d* se déroule du treuil *e*, ce qui tend à faire baisser le même fardeau, de sorte qu'en résultat il ne s'élève que de la quantité exprimée par la différence de la proportion de corde enveloppée sur le treuil *a* à la portion de corde développée du treuil *e*; ce qui revient au même que si ce poids était enlevé par un câble simple s'enroulant sur un treuil simple dont le rayon serait la différence des rayons du double treuil. Or, comme la différence des rayons du treuil double peut être aussi petite qu'on voudra, il s'ensuit que la puissance restant la même, elle peut enlever des poids considérables. Ainsi, par exemple, si la différence entre deux rayons est la centième partie de la longueur du levier au bout duquel la force est appliquée, il s'ensuivra qu'avec un effort de 50 kilogrammes seulement, on enlèvera un poids de 5000 kilogrammes (1).

La puissance de ce treuil peut être employée pour produire les plus grands efforts; il peut être appliqué avec succès pour arracher des pieux. Son emploi n'est subordonné qu'au temps qu'on peut consacrer à l'opé-

(1) *P* étant la puissance ou l'action exercée sur les leviers, *Q* la résistance ou le poids à soulever, *R* la longueur du levier auquel la force est appliquée, *r* le rayon de la partie la plus grosse du treuil, *r'* celui de la partie la plus petite; la condition d'équilibre est représentée par cette proportion $P : Q :: \frac{r-r'}{2} : R$. Or plus $\frac{r-r'}{2}$ sera petit, par rapport à *R*, plus le poids *Q* pourra être grand par rapport à *P*.

ration pour laquelle on veut en faire usage; car on conçoit qu'il faudra d'autant plus de temps pour élever un fardeau à une hauteur donnée, que la puissance du treuil sera grande, puisque la différence des rayons devra être aussi d'autant plus petite.

Pour faire usage de ce treuil, il faut, comme pour ceux dont nous avons précédemment parlé, que les bouts du câble soient fixés par des dents-de-loup ou que des ouvriers tiennent à la retraite chacun des deux bouts prolongés au-delà du treuil.

On peut aussi appliquer au treuil chinois la combinaison des treuils à gorges, en établissant pour chaque partie un treuil auxiliaire qui lui soit égal en grosseur avec le nombre de gorges convenable.

§ 6. Cabestans à vindas.

Les cabestans sont des treuils dont les axes de rotation sont verticaux, mais auxquels, à raison de cette position, on peut appliquer des leviers horizontaux plus longs et nus par une action non interrompue, puisqu'il n'y a plus nécessité d'embarrer et de débarrer.

Nous avons dessiné, fig. 25, 26, 27 et 28. pl. CLIV, par des projections verticales et horizontales et par une seule projection verticale, fig. 44, pl. CLIII, différentes sortes de cabestans mobiles, c'est-à-dire qu'on peut changer de place suivant les besoins des travaux.

Dans la figure 27, pl. CLIV, nous avons représenté des hommes appliquant leur force à faire tourner ou, comme disent les ouvriers, à virer sur un cabestan (1). Deux leviers carrés *a*, *b*, sont passés dans la tête du cabestan, ils s'y croisent à angle droit; ils sont projetés en lignes ponctuées sur le plan. Le seul levier parallèle au plan du dessin est projeté en entier; l'autre levier, à raison du défaut de place, n'a pu être projeté sur le plan horizontal que par ses parties voisines du cabestan.

Le câble *m* est celui qui est tendu et qui tire le fardeau qu'il s'agit de mouvoir. Son prolongement *n*, après qu'il a fait quelques tours sur le corps *a* du cabestan, est reçu à mesure qu'il se dévide par un ouvrier assis que nous avons représenté fig. 27; cet ouvrier est chargé, comme pour le treuil, de tendre le câble, afin qu'il ne glisse pas dans ses tours.

Tout ce que nous avons dit sur les treuils s'applique aux cabestans;

(1) En supposant deux hommes à chaque bout des barres, il aurait fallu en représenter huit; mais j'ai supposé que les hommes qui seraient posés par devant le cabestan et qui empêcheraient de le voir, étaient supprimés dans la figure 27.

ainsi, l'on peut faire des cabestans doubles à gorges et même des cabestans à treuils chinois.

On fait des cabestans dont le corps est conique, afin que le câble descende de lui-même à mesure qu'il est déroulé; mais il en résulte quelquefois des secousses qui sont dangereuses, en ce qu'elles peuvent faire rompre le câble.

Lorsqu'un cabestan doit agir sur un très-long cordage, qui ne peut s'enrouler entièrement sur un cylindre, dont la longueur ne peut contenir qu'un petit nombre de tours, on peut opérer, comme nous l'avons indiqué pour les treuils des chèvres, en liant momentanément le câble à quelque point fixe; mais on peut aussi se servir du moyen que les marins emploient en pareil cas, qui consiste dans l'usage de deux cabestans sur lesquels passe une corde sans fin, à laquelle on lie le câble à mesure qu'il avance sur cette corde, tandis qu'on le délie à son autre extrémité à mesure qu'il doit quitter la corde sans fin.

On établit sur les quais des cabestans fixes pour le service de la navigation; chaque cabestan de cette espèce est composé d'un axe en fer dont la racine est scellée dans un massif de maçonnerie. Cet axe porte le corps du cabestan creusé pour le recevoir; une crapaudine de cuivre reçoit la pointe de l'axe, et dans l'intérieur sont des cercles de friction. Le corps de ce cabestan est formé de trois ou quatre pièces de bois réunies par des frettes; nous ne donnons point de dessin de ce cabestan, parce qu'il ne peut servir aux charpentiers dans leurs travaux.

III.

MACHINES A BATTRE LES PILOTS.

§ 1. *Pieux et palplanches.*

Les pieux ou pilots sont des pièces de bois que l'on enfonce dans le sol suivant leur longueur, et le plus souvent verticalement pour l'exécution de diverses sortes de constructions.

Ces pièces de bois sont de deux espèces :

1° Les pieux, ou pilotis;

2° Les palplanches.

Les pieux sont des corps d'arbre en grume ou équarris sur quatre faces égales; les palplanches, comme leur nom l'annonce, sont des pals ou

pieu en planches, ou plateaux, ou madriers épais, deux de leurs faces parallèles étant beaucoup plus larges que les deux autres.

Les pilots sont employés pour former des palées de ponts et pour soutenir des revêtements de culées; ils entrent dans la construction des quais et dans les fondations des constructions établies en de mauvais terrains, pour donner à ces fondations la solidité indispensable à la stabilité des édifices. (*Voir page 491.*)

Les palplanches servent à former les encaissements des batardeaux et des fondations.

Les charpentiers sont toujours chargés de planter les pilots et les palplanches, ainsi que de tous les travaux en bois qui concourent à l'établissement des fondations d'une bâtisse, quelle que soit la nature de la construction. Ils emploient, pour enfoncer les pilots et les palplanches dans le sol, comme pour les en arracher, des machines qu'ils construisent eux-mêmes et dont ils dirigent l'usage dans les manœuvres où elles sont nécessaires.

On distingue dans un pieu ou pilot, comme dans une palplanche, le corps, la tête et la pointe; la quantité dont un pieu ou une palplanche est enfoncée dans le sol est sa *fiche*.

Les pieux employés dans une construction doivent être tous sensiblement du même échantillon, c'est-à-dire du même diamètre s'ils sont conservés ronds, et du même équarrissage s'ils sont façonnés carrés. Une condition essentielle de leur forme, c'est qu'ils soient droits et de fil, sans que la hache en ait corrigé aucune difformité, sinon quelques légères aspérités qui feraient obstacle à leur enfoncement dans le sol. Les pieux ne sont pas exactement de la même grosseur dans toute leur longueur; ils sont un peu coniques, forme qui augmente un peu la résistance au battage, et qui a quelquefois déterminé à faire la pointe sur le bout le plus gros, notamment au pont de Bordeaux, où les pilots sont en bois de pin.

Les pieux et palplanches sont enfoncés dans le sol par la percussion d'une masse pesante en bois ou en fer, nommée *mouton*, qui les frappe sur la tête dans la direction de leur axe. Pour que le bois n'éclate pas, notamment quand la résistance du sol est grande, on garnit la tête de chaque pieu d'une frette en fer forgé qui l'entoure et maintient toutes les fibres réunies pendant le battage.

La fig. 29, pl. CLIII, représente, en projection verticale, la tête d'un pilot garni de sa frette. Cette frette ne reste sur un pieu que pendant le temps de son battage; les frettes sont enlevées des pieux à mesure qu'ils sont complètement battus pour en garnir les pieux qu'on va battre.

Pour que les pieux puissent pénétrer dans un sol résistant, leurs bouts

de fiches sont taillés en pointe dont la longueur est d'environ une fois et demie la grosseur du pieu. Lorsque le terrain est médiocrement résistant et que le bois des pieux est dur comme le chêne et l'orme, il suffit que les pointes soient faites à la hache.

La figure 10, pl. CLIV, représente la pointe d'un pieu équarri; cette pointe est en pyramide quadrangulaire. Pour faciliter l'entrée en fiche, on taille une seconde fois sur les arêtes, la pointe forme une pyramide à huit faces, comme elle est représentée fig. 11.

La figure 12 représente la pointe d'un pieu rond taillée sur quatre faces.

La figure 13 est la pointe d'un autre pieu rond taillée sur six faces; on peut aussi faire la pointe à huit faces.

Le plus ordinairement, le terrain dans lequel on enfonce des pieux est trop dur pour qu'ils puissent le pénétrer sans que leurs pointes soient armées d'une ferrure appelée *sabot*.

La figure 14 représente la pointe d'un pieu carré garni d'un sabot en fer forgé formé de quatre bandes réunies par une soudure et terminé en pointe.

Les prolongements de ces quatre bandes forment autant de branches qui s'appliquent sur les faces de la pointe d'un pieu et y sont retenues par de forts clous. Pour que les sabots joignent mieux le bois, on les applique à chaud; la pointe du pieu est tronquée à quelques centimètres de son sommet pour qu'elle porte exactement dans le fond du sabot.

La figure 15 est un pieu rond dont la pointe est armée d'un sabot de la même forme.

La figure 16 représente le bout inférieur d'un pieu rond *ensaboté* en fonte.

La figure 19 est une coupe de la fiche de ce pieu par un plan vertical passant par son axe; cette coupe est figurée sur une échelle quadruple.

a, bois du pieu.

b, sabot en fonte de fer.

c, tige en fer *ébarbelée* saisie par le fer fondu lorsqu'on coule le sabot dans un moule où cette tige a été placée à l'avance; elle se trouve solidement fixée par le retrait de la fonte; elle pénètre dans le bois du pieu et y fixe le sabot.

Le demi-diamètre du pieu, qui est aussi celui du sabot, sert de module; le profil du sabot est un triangle équilatéral. Le module étant divisé en dix parties, la profondeur du sabot est de cinq parties et demie, l'épaisseur du bord en haut est d'une partie, au fond de deux parties; l'épaisseur de la tige peut être de trois parties; dans le fond, sa grosseur est de deux parties, et sa longueur de quinze parties, qui pénètrent dans le bois au cœur du pieu.

On avait depuis longtemps remarqué que les sabots en fer forgé se déformaient et se dérangent pendant le battage. M. Deschamps, inspecteur des ponts et chaussées et directeur des travaux du pont de Bordeaux, après divers essais, s'est arrêté à la forme que nous venons d'indiquer pour ensaboter tous les pieux employés dans les fondations de ce pont; le succès a été complet. L'économie dans la dépense n'est pas le moindre avantage que procure ce mode d'ensabotement; on a reconnu que des sabots en fonte de 10 kilogrammes rendaient un meilleur service que des sabots en fer forgé du poids de 16 kilogrammes. Cependant un sabot en fonte ne coûte que..... 4 fr. tandis qu'un sabot en fer forgé de 16 kilogrammes coûte..... 19

La différence est de.....	15 fr.
---------------------------	--------

Quoique nous ne devons pas faire ici un traité de l'art d'établir des fondations solides, il faut bien faire connaître les rapports que les pilots ont avec cette partie, la plus importante de l'édifice.

Les pieux ont pour objet de consolider un terrain en le rendant plus compacte, parce qu'ils en resserrent les parties en les pressant latéralement les unes contre les autres dans une profondeur égale à celle où ils sont enfoncés. On a pour but de prévenir, par ce moyen, la compression dans le sens vertical qui pourrait résulter du poids des constructions.

Il est néanmoins reconnu que rarement l'établissement d'un pilotis dans un terrain peu résistant est complètement utile, et qu'il ne produit pas un résultat en rapport avec les frais auxquels il donne lieu; la plus grande utilité des pilotis ne se rencontre que lorsque, après avoir traversé un fond peu résistant, ils atteignent un terrain solide dans lequel ils peuvent prendre assez de fiche pour demeurer verticaux et inébranlables, et soutenir, comme le feraient des piliers, la fondation et tout le poids de l'édifice qu'on élève au-dessus.

Les pieux qui forment ces pilotis sont enfoncés verticalement dans le sol. La longueur de la fiche qu'on leur fait prendre, leur écartement et le degré de résistance au battage qu'on exige d'eux dépend de l'objet pour lequel ils sont battus et de la part de résistance qu'ils ont chacun à opposer à la charge qu'ils doivent supporter.

Une trentaine de coups de mouton donnés sur la tête d'un pieux se nomme une volée; après ce nombre de percussions, les hommes chargés de les produire ont besoin d'un instant de repos.

On nomme refus la résistance qu'un pieu oppose à la percussion du mouton pendant une volée.

On se contente ordinairement d'un refus de 2 à 3 millimètres sous une volée de trente coups, c'est-à-dire lorsqu'il faut une volée de trente coups

pour enfoncer le pilot de 2 ou 3 millimètres au-delà du point où il est déjà enfoncé.

Malgré les efforts qui ont été faits pour obtenir une formule certaine, on ne peut évaluer la résistance dont est capable un pieu qui a atteint un refus donné, puisque l'action de la percussion et celle de la pression par la pesanteur ne sont point comparables; mais on se contente d'évaluer cette résistance à environ 50 kilogrammes par centimètre de la section horizontale d'un pieu, et l'on trouve que dans les constructions il s'en faut de beaucoup que chaque pieu ait à supporter une charge qui soit dans ce rapport. Il est toujours prudent de multiplier les pieux sous la fondation, pour qu'ils n'aient pas une charge aussi grande à supporter.

§ 3. *Sonnette à tiraudes.*

On a donné le nom de *sonnettes* aux machines dont on se sert pour battre les pieux et les palplanches; les *sonnettes* sont toujours posées sur un plancher horizontal établi au-dessus du sol dans lequel on doit *piloter*, afin qu'on puisse les mouvoir pour les placer dans la position qui convient au battage de chaque pieu. Lorsque le sol est couvert d'eau, les sonnettes sont le plus souvent établies sur des pontons ou sur des radeaux; mais on ne doit se contenter de ce moyen que dans une eau parfaitement tranquille et dont le niveau est constant.

Pour obtenir un pilotage exact dans l'eau, il est indispensable de battre d'abord quelques pieux provisoires qui servent à l'établissement d'un échafaud pour porter les sonnettes, et lorsque le pilotage est terminé on arrache les pieux provisoires, ou, ce qui est mieux, on les recepe plus bas que ceux qui doivent servir à l'établissement des fondations.

Les sonnettes sont construites de manière à pouvoir élever à une hauteur suffisante les moutons qui doivent produire la percussion et les abandonner ensuite à la puissance de leur poids, pour qu'en tombant ils frappent sur la tête des pieux.

Ces machines sont construites en charpente.

La plus simple est la *sonnette à tiraudes*, ainsi nommée parce que plusieurs cordes servent aux ouvriers manœuvres employés à ce travail pour hisser le mouton; nous avons représenté cette sonnette par trois projections, pl. CLIII.

Dans la figure 1, pl. CLIII, elle est représentée de profil.

Dans la figure 8, elle est vue de face.

La figure 30 représente l'enrayure horizontale sur laquelle elle est assemblée.

b b, jumelles verticales. Quelquefois, au lieu de jumelles, la sonnette

ne porte qu'un coulisseau vertical le long duquel le mouton glisse. Les fig. 6 et 7 représentent cette disposition.

c, arc-boutant garni d'échelons.

d, hanches.

e, épars.

a, semelle ou sablière.

f, queue.

g, contre-fiches.

La sablière, les jumelles, les hanches et les épars forment le pan principal de la sonnette et sa face antérieure.

Aux deux bouts de la semelle et au bout de la queue sont, en dessous, des entailles pour qu'on puisse embarrer des leviers lorsqu'on change la sonnette de place et qu'on l'établit pour battre un pieu.

t, pilot en battage.

h, mouton en bois fretté, du poids de 3 à 500 kilogrammes, suivant la grosseur et la longueur qu'on lui donne, en raison de la force nécessaire pour chasser le pieu d'après sa grosseur et la résistance du sol.

i, poulie sur laquelle passe le câble.

k, câble attaché à la boucle en fer du mouton.

Après avoir enveloppé la poulie, le câble se termine en dedans de la sonnette par une grande boucle épissée où sont attachées les tiraudes *m*, sur lesquelles les manœuvres appliquent la puissance de leurs bras.

Suivant le poids du mouton dont on fait usage, on emploie à cette manœuvre de vingt à trente hommes, qui ne doivent avoir à soulever que 12 à 15 kilogrammes chacun.

Pour qu'il y ait le moins possible de perte de leur force, à cause de l'obliquité des tiraudes, on donne le plus grand diamètre possible à la poulie, et l'on a soin de maintenir les manœuvres à la distance indispensable pour qu'ils ne soient gênés, et on les dispose en égal nombre et symétriquement des deux côtés de la queue de la sonnette, de façon que le câble demeure dans le plan vertical de l'axe de la sonnette; les tiraudes sont ordinairement garnies de quinçonceaux, comme ceux représentés fig. 66 et 40 de la pl. CLII.

Le mouvement est donné au mouton par les manœuvres qui agissent sur les tiraudes comme s'ils sonnaient une cloche. Le mouton est alors astreint à suivre la coulisse que forment les deux jumelles, par les deux tenons ou ailerons *j*, qui lui laissent le jeu nécessaire et qui sont traversés chacun par une clef pour le retenir aux jumelles.

Lorsque l'on emploie un mouton très-pesant, et que, par conséquent, un grand nombre de manœuvres sont nécessaires pour le hisser, on fait usage de deux câbles, tous deux attachés au mouton, et passant sur deux

poulies parallèles logées dans le haut des jumelles, comme elles sont représentées, fig. 25, pl. CLIII. Il est préférable, afin que la divergence des tiraudes fasse perdre moins de force, de placer les poulies obliquement, en les appliquant, au moyen de chapes en bois, sur les arêtes des jumelles, comme elles sont disposées, fig. 22, en projection verticale, et fig. 23, en projection horizontale. Par cette disposition, les ouvriers sont répartis aux deux câbles, ils ne se gênent point, et une moindre partie de leur force est perdue.

La même sonnette sert de chèvre pour dresser le pieu qui doit être battu, le hisser et le mettre en fiche; elle est, à cet effet, garnie d'un treuil *i* dont le câble passe sur deux poulies, l'une *o* au point où il traverse l'arc-boutant *c*, l'autre *p* au sommet de la sonnette. Ce câble est garni à son extrémité d'un crochet *v* de brellage qui sert à le fixer sur lui-même, après lui avoir fait faire deux ou trois tours sur le pieu au point par lequel on veut le saisir; lorsque ce câble ne sert pas, on le fixe par une double clef *r* à l'une des hanches, comme nous l'avons représenté fig. 8.

Le battage des pieux est dirigé par le chef de chaque sonnette; c'est un charpentier dit *charpentier-enrimeur*. Il est le chef de tout l'atelier, et peut se faire aider par un compagnon ou par un manœuvre intelligent.

Pour qu'un pieu soit chassé dans le sol bien verticalement, il faut dès le commencement apporter le plus grand soin à sa mise en fiche et à sa direction; il faut, en outre, que le centre de gravité du mouton parcoure dans sa chute la verticale qui correspond à l'axe également vertical du pieu. Cette condition exige que la position de la sonnette soit exacte, de façon que les jumelles soient verticales, que le plan, passant dans le milieu de l'espace qui les sépare et par l'axe de la queue, passe aussi par l'axe vertical suivant lequel le pieu doit être planté, et enfin que la sonnette soit à la distance convenable du pieu, pour que le centre de gravité du mouton se meuve dans cet axe.

Ces résultats sont obtenus en faisant mouvoir la sonnette avec des leviers embarrés sous les bouts de la semelle et de sa queue, on l'assujettit en la calant et même quelquefois en chargeant quelques points de son enrayure avec de grosses pierres ou du lest de fer coulé. Le *charpentier-enrimeur* doit vérifier presque continuellement la position de la sonnette avec le fil à plomb, et faire rectifier immédiatement les dérangements qu'elle peut avoir éprouvés.

Pour s'assurer pendant le battage du parallélisme et de la distance du pieu aux jumelles de la sonnette, les charpentiers, principalement ceux habitués à travailler dans les ports, placent une cale d'épaisseur convenable entre le pieu en fiche et les jumelles, et l'y maintiennent par un

embrellage. Afin que la cale ne s'échappe point, on lui donne la forme d'un *T*; elle est représentée fig. 2; son corps *m n* est placé entre les jumelles et le pieu, fig. 3, 4 et 5, et sa queue *p* est engagée entre les jumelles. Un petit garçon est ordinairement chargé de tenir le garrot de l'embrellage serré pendant le battage, et de laisser cependant à la ligature le jeu nécessaire pour que la cale, qui est aussi appelée le *petit garçon*, suive le pieu à mesure qu'il s'abaisse. On voit qu'au moyen de cette cale, on n'a qu'à s'occuper du maintien de la position verticale de la sonnette.

La figure 4 est un fragment de l'élévation de la sonnette à tiraudes.

La figure 3, un fragment de son profil.

La figure 5, une coupe horizontale suivant la ligne *x y* pour montrer la cale *m m* entre le pieu et la sonnette; le petit garçon est représenté, fig. 4, dans sa position sur un épars pendant qu'il tient le garrot de l'embrellage. Ce lien n'est pas marqué sur les fig. 3 et 5.

Le charpentier-enrimeur placé devant le pieu, en dehors de la sonnette, embarre convenablement un levier entre la sonnette et le pieu, et se rend, par ce moyen, maître de la direction du pieu. C'est lui qui commande les manœuvres sonneurs, qui leur fait interrompre, reprendre, accélérer ou ralentir le battage, suivant le besoin. Lorsqu'on suspend le battage, on soutient le monton par une cheville. C'est ce que l'on appelle *mettre au renard*.

L'emploi de la cale nommée petit garçon est très-utile et elle facilite beaucoup le battage, mais la nécessité de changer la ligature de place, lorsqu'elle se trouve arrêtée par un épars, m'a déterminé à donner une autre forme à cette cale dans quelques grands travaux que j'ai dirigés.

La figure 17 est une projection horizontale de cette cale.

La figure 16 est sa projection verticale; elle est composée d'une sorte de joug *m m* auquel on attache le pieu pendant le battage, d'une traverse *p p* qui glisse, en dedans de la sonnette, le long des jumelles et d'un billot *t* combiné par entaille avec la traverse et le joug, pour qu'il ne tourne pas. Ces trois pièces sont traversées par un boulon dont l'écrou est garni d'oreilles servant à le serrer suffisamment pour que les jumelles se trouvent pressées entre les pièces *m m* et *p p*, sans que le glissement soit gêné.

La figure 20 est un fragment de l'élévation d'une sonnette à tiraudes.

La figure 19, un fragment de sa projection de profil.

La figure 21 est une coupe horizontale à la hauteur de la ligne *x y* dans les figures 19 et 20.

La cale dont il vient d'être question est marquée sur les trois figures, ainsi que le petit garçon chargé de maintenir la ligature serrée, autant

qu'il est besoin, pendant tout le temps du battage d'un pieu, et sans qu'il soit besoin de la défaire, les épars ne faisant plus obstacle au mouvement de la cale pour qu'elle suive le pieu dans tout son abaissement. Nous avons supposé, dans cette figure, que le pieu en battage est une palplanche, ce qui ne change rien à la disposition de la cale.

Lorsqu'un pieu est chassé de façon que sa tête est au niveau de la semelle de sonnette, le mouton n'a plus d'action sur lui et il n'y aurait pas moyen de l'enfoncer davantage sans l'usage d'un faux pieu qui est représenté de profil fig. 28.

Le faux pieu sert à allonger momentanément le pieu en battage et à lui transmettre la percussion du mouton; ce faux pieu porte des tenons qui passent et glissent entre les jumelles, et qui y sont maintenus par des clefs. Il est fretté par les deux bouts. Une grosse cheville de fer plantée dans son axe, à sa base inférieure, sert, en pénétrant dans le centre de la tête du pieu, à empêcher qu'il s'en échappe pendant le battage.

A mesure qu'un pieu s'enfonce, il faut changer la longueur du câble qui le suspend ou celle des tiraudes, parce que les ouvriers qui les tiennent ne peuvent pas lui donner plus d'ascension que la longueur de l'espace que leurs mains doivent parcourir. Cette amplitude de mouvements dans le sens vertical est évaluée à 1^m,50 ou 2 mètres, à moins qu'on n'exige momentanément des ouvriers un plus grand effort des bras et du corps, afin de donner au mouton plus de vitesse en montant, pour que, par une sorte d'élan, il puisse s'élever un peu plus haut, auquel cas la hauteur de la chute peut être portée à 2 mètres et demi tout au plus; mais les sonneurs ne tiendraient point à cet excès de travail s'il était prolongé.

On suppose ordinairement que l'atelier de sonneurs, travaillant une journée de dix heures, bat cent vingt volées de trente coups chacune; la durée de chaque volée, compris les temps de repos qui séparent les volées, est de quatre minutes. Ce qui reste de temps est employé à rectifier la position de la sonnette et à mettre les pieux en fiche; on peut cependant obtenir plus de travail, soit en relayant les sonneurs pour réduire le temps des repos, soit en les excitant au travail par des gratifications, ou en les mettant à la tâche.

§. 3^o *Sonnette à déclie à cheval.*

Pour donner une plus grande hauteur de chute, on a inventé les sonnettes dites à déclie, dans lesquelles le mouton étant élevé à une hauteur beaucoup plus grande que celle résultant de l'amplitude du mouvement des bras de l'homme, il échappe à l'attache qui sert à l'élever; il tombe,

frappe la tête du pieu et bientôt est repris de nouveau pour renouveler sa chute.

La figure 1 de la planche CLIV est le profil d'une sonnette à déclie.

La figure 6 est son élévation.

La figure 24 en est le plan.

C'est à peu près le dessin de celle qui a été employée par Perronnet aux travaux du pont de Neuilly; le mouton est mû par un cheval. Les jumelles *b b* sont séparées de la sonnette qui n'est composée que d'un seul montant *a*, de deux hanches *c*, d'une moise *d*, d'un arc-boutant *e* garni d'échelons : le tout est porté sur un assemblage en enrayure formant le pied de la sonnette. Le mouton *t* est en fonte; il pèse, suivant le besoin, 600 à 900 kilogrammes. Il est cunéiforme sur sa face principale; il est garni de deux *élinides* *v*, en bois, qui lui sont fixées par six forts boulons, et dans lesquelles sont creusées les rainures qui glissent le long des jumelles pour le guider dans ses ascensions et ses chutes.

Ce mouton est accroché à une esse en fer *p* montée dans une chape semblable à celle d'une poulie et accrochée à un câble *k* qui s'enroule sur le treuil *o* de la grande roue *m*, dont la circonférence est creusée en gorge de 8 à 10 centimètres pour recevoir plusieurs tours d'un cordage de 14 et 15 millimètres de diamètre *r*.

La queue du crochet *p* reçoit dans son anneau un petit cordage *v* qui s'y trouve fixé par un bout au moyen d'un nœud, et qui est attaché par l'autre bout à l'une des chevilles du montant *n*.

Deux chevaux de moyenne force, que le dessin ne représente pas, sont attelés au cordage *r*, et marchent sur un sol plus élevé que celui où se trouve la sonnette; ils font tourner la roue *m* et le treuil *o*; celui-ci enroule le câble *k*. Le mouton est enlevé par l'esse *p*; mais dès que, par l'effet de ce mouvement, le petit cordage *v* est tendu, il retient la queue de l'esse, tandis que sa chape continue à monter, ce qui l'oblige à se renverser et à laisser échapper le mouton qui tombe sur la tête du pieu.

Le conducteur des chevaux détache le crochet d'attelage, alors deux hommes font tourner la roue *m* en sens contraire; ils enroulent la corde *r* dans la gorge. Le câble *k* se déroule du treuil, tandis qu'un autre homme attire l'esse par son cordage et l'accroche de nouveau au mouton, en même temps que les chevaux, revenus au point de leur départ, sont attelés de nouveau aussi au cordage *r* pour recommencer la même manœuvre. Ces sonnettes sont servies par un enrimeur et quatre hommes, compris le conducteur des deux chevaux; le service de ces sonnettes est un peu lent, mais la puissance d'un mouton de 900 kilogrammes, qui tombe de 6 à 7 mètres de hauteur, dédommage amplement de cette lenteur.

§ 4. *Sonnette à déclie simple.*

Pour des moutons d'un poids moyen, on a inventé d'autres sortes de sonnettes à déclie que nous ne décrivons pas toutes, ne nous arrêtant qu'à celles qui sont les moins compliquées.

Dans celle représentée par les projections verticales, fig. 9 et 17, et sa coupe horizontale, fig. 29, pl. CLIV, suivant la ligne $x y$, un tour vertical f peut être mù par quatre ou huit hommes, suivant le poids du mouton; leur effort est appliqué aux leviers r qui sont adaptés à ce tour. Le pêne d'une bascule g entraîne une des dents cylindriques de la bobine n , sur laquelle s'enroule la corde v . Cette corde, après avoir passé sur deux poulies m, m' , suspend la pince de déclie h contenue dans une sorte de chape k . Cette pince saisit entre ses deux mâchoires la boucle du mouton t , qui se trouve ainsi enlevé par l'effet du mouvement donné au tour f . Lorsque la pince de déclie h est parvenue en haut de la sonnette, ses branches se trouvent engagées dans un rectangle en fer i qui les contraint à se serrer; par ce mouvement, elles forcent les mâchoires de la pince h à s'ouvrir et à laisser échapper le mouton qui tombe sur la tête du pieu. Aussitôt l'un des hommes qui agissent sur les leviers r appuie sur la queue de la bascule g qui, en s'abaissant, dégage la dent de la bobine n , qui était retenue par le pêne de cette bascule; alors la pince de déclie, l'emportant par son poids sur le frottement et sur la roideur de la corde, détourne la bobine h et descend avec vitesse sur le mouton; elle saisit de nouveau la boucle de suspension, parce que le dessus de sa traverse est taillé en dos d'âne; les pans inclinés de cette traverse écartent les biseaux des mâchoires de la pince, qui se ferment ensuite subitement par l'effet de deux ressorts. Les ouvriers, en continuant à tourner, recommencent la même manœuvre. On voit qu'il y a effectivement, dans l'usage de cette sonnette, moins de perte de temps que dans celui de la sonnette précédente. La bascule g est représentée séparément, fig. 30.

La figure 8 est la projection, vue de face, d'une autre disposition de pièces à déclie pour un mouton glissant entre deux jumelles, comme celui des figures 1 et 6.

L'invention de cette sonnette est due à un horloger de Londres, M. Vauloué, qui l'imagina pour la construction du pont de Westminster, où elle était mise en mouvement par des chevaux; elle est figurée pl. XXV du tome III de l'*Architecture hydraulique* de Belidor. Il est probable, cependant, que pour appliquer la force d'un plus grand nombre d'hommes ou de chevaux, il a fallu écarter beaucoup le pied de l'arc-boutant, ou

lui donner la disposition adoptée dans celle qui a été faite pour la construction de l'écluse de Mardick, qui est figurée pl. IX du tome III du même ouvrage. Belidor dit qu'une sonnette du même genre, mue par des hommes, a été employée à la construction du pont de Sèvres, sur la route de Paris à Versailles.

Un petit treuil x sert, au moyen du cordage z , à hisser les pieux à mettre en fiche.

§ 5. Sonnette à déclie à hélice.

La figure 20 est le profil et la figure 31, pl. CLIV, le plan d'une sonnette dans laquelle les hommes qui tournent un arbre vertical f n'ont pas besoin de s'occuper du déclie.

La corde v , qui suspend le mouton, s'enroule sur une poulie ou bobine h entraînée par l'arbre f qui la traverse au moyen d'une cheville de fer horizontale x , fig. 22 et 23, rencontrant une cheville verticale y fixée dans le fond d'un refouillement fait dans le dessous de la bobine h . Cette bobine est portée en dessous par deux roulettes m sur deux rampes en spirale k , qui l'élèvent le long de l'arbre f . La position horizontale de la bobine est maintenue par une douille b , qui lui est fixée, et dans laquelle passe l'arbre vertical f ; ces deux roulettes sont projetées sur une seule dans la figure 20; on en aperçoit une fig. 22; leur position est ponctuée fig. 31. Lorsqu'en tournant la bobine h a enroulé le cordage v et enlevé le mouton, elle a été forcée de s'élever le long de l'arbre f , parce que ses roulettes sont montées le long des deux rampes spirales k ; alors la cheville verticale y se trouve plus élevée que la cheville horizontale x , la bobine étant libre, le mouton n'est plus retenu; en tombant pour frapper le pieu, il entraîne la corde, qui se déroule de la bobine en la faisant tourner en sens inverse; elle redescend vivement avec ses roulettes, qui se retrouvent au pied des rampes, et la manœuvre recommence tant que les hommes tournent sur le plancher ou couvercle du coffre qui renferme la bobine et ses rampes.

La hauteur de la chute du mouton est constante, puisqu'elle est égale à un tour de la bobine. Pour que le mouton puisse toujours frapper la tête des pieux, il est indispensable de régler à quelle hauteur aura lieu le déclie pour une volée et à mesure que le pieu s'enfonce; à cet effet, les rampes sont fixées sur un plateau garni de dents à sa circonférence; une cheville z , placée contre une de ces dents, détermine la position des rampes par la partie de la hauteur des jumelles qu'on veut faire parcourir au mouton pour sa chute.

Cette machine n'est pas d'un usage aussi commode que la simplicité du

moyen qu'on y a appliqué semblait l'annoncer, et nous ne l'avons indiqué qu'à cause de ce qu'il y a d'ingénieux dans ce moyen.

§ 6. *Sonnette inclinée.*

On est quelquefois obligé de planter des pieux inclinés, notamment pour la construction des palées des ponts; les Anglais les emploient dans les fondations pour culées de ponts, et peut-être serait-il utile de les employer aussi dans toute espèce de fondations, notamment dans des piles de ponts, en les plantant dans des sens contraires, pour opposer leur résistance à la propension que les pieux pourraient avoir à s'incliner ou à se courber sous les charges qu'ils ont à supporter. Nous avons représenté, fig. 12 de la pl. CXLV, une projection verticale d'une sonnette inclinée vue de profil; on suppose qu'elle est disposée pour battre une palplanche inclinée de champ.

Le pan principal de la charpente de cette sonnette est composé, comme dans la sonnette à tiraudes de la figure 1 de la planche CLIII; la pièce *c* formant l'arc-boutant est plus droite. L'assemblage horizontal *h k* est composé d'une pièce *k* moisée par la moise *h*, dont les deux parties s'assemblent chacune dans une des jumelles *a*. Il en est de même de la pièce *i*, sur laquelle est le petit garçon, et des pièces *j* qui sont doubles, qui s'assemblent dans les jumelles et qui moisent l'une le montant *l*, l'autre l'arc-boutant *c*; les deux goussets *p q* sont simples, celui *p* est pris par la moise *h*.

La poulie *m* est placée de façon que le cordage *n*, auquel les tiraudes sont attachées, pende dans le milieu de l'espace occupé par les sonneurs.

Deux rouleaux *x* sont attachés au mouton *d* par deux doubles chapes en fer. Chaque rouleau porte dans le milieu de sa longueur un grand renfort qui se loge entre les jumelles *a*; pour servir de guide, un petit logement est creusé dans le mouton pour recevoir, sans contact, ces renforts.

La figure 8 est une coupe de mouton et des jumelles suivant la ligne *z y*.

Les figures 9 et 10 sont deux projections d'un des rouleaux.

La figure 11 est une coupe suivant la ligne *z' y'*, des jumelles *a*, de la palplanche *t* et de la cale simple, dite petit garçon, qui sert à maintenir la palplanche dans sa position, pour que son axe se confonde toujours avec la ligne que le centre de gravité du mouton parcourt.

§ 7. *Moutons à mains.*

Lorsque les pieux qu'il s'agit de planter ne sont point assez gros pour

exiger la puissance d'une sonnette, on les chasse au moyen d'un mouton, comme celui que nous avons représenté par deux projections, fig. 9 et 10, pl. CLIII; les ouvriers le tiennent par ses longs manches pour lui donner le mouvement vertical et frapper les pieux. On se sert du mouton en le tenant dans le sens où il est représenté fig. 9, ou dans le sens contraire, suivant la hauteur de la tête du pieu par rapport aux ouvriers.

Les figures 11 et 12 représentent une autre sorte de moutons à main, que les ouvriers tiennent par les poignées qui sont clouées autour. Pour guider ce mouton pendant qu'on le fait agir sur la tête d'un pieu, il est percé d'un trou cylindrique suivant son axe, dans lequel on enfle une tige de fer plantée sur la tête du pieu, fig. 13. Pour les plus petits pieux, plus gros cependant que des piquets pour lesquels il suffit d'une masse ordinaire, on se sert d'une masse à deux manches, que nous avons représentée figures 32 et 33, même planche; deux ouvriers tiennent chacun un manche et agissent simultanément et de la même manière pour frapper la tête du pieu.

Dans les cas fort rares où il s'agit d'enfoncer un pieu horizontalement, les charpentiers le battent au moyen d'une poutrelle qu'ils tiennent suspendue horizontalement par quatre cordes au moins, et ils lui donnent un mouvement de balancement, dans le sens de son axe, au moyen duquel, avec un peu d'adresse, ils parviennent à frapper la tête du pieu de coups très-violents, à l'imitation d'une ancienne machine de guerre appelée béliet.

Dans l'usage des sonnettes, des moutons à main et des masses à deux manches, pour mettre de l'ensemble dans les mouvements des hommes et agir avec la somme de leurs forces, l'un d'eux avertit les autres par un cri, qui peut même être répété, pour régler la mesure des mouvements du battage.

VI.

ARRACHEMENT DE PIEUX.

§ 1. *Sonnette arrache-pieux.*

Lorsque des pieux, qui ont été battus provisoirement, sont devenus inutiles, ou lorsque d'anciens pieux sont nuisibles, on les arrache du sol. C'est encore aux charpentiers que l'on confie cette besogne, qui présente quelquefois de grande difficulté; nous avons réuni, dans la planche CLIII, la représentation des différents moyens les plus fréquemment usités.

Les figures 18 et 24 sont les projections verticales d'une sonnette appropriée à l'arrachement des pieux. Elle est à peu près construite comme la sonnette à tiraudes; elle n'en diffère qu'en ce qu'on lui a ajouté dans son pan principal, vu de face, fig. 24, deux treuils r dont nous allons expliquer l'usage, une moise t et deux traverses en potences f , auxquels deux poulies m sont suspendues.

Soit p le pieu qu'il s'agit d'arracher; on le traverse par une cheville en fer n qui sert à empêcher deux estropes u de glisser; ces estropes, passant dans les anneaux des deux poulie q ou y , sont accrochées par des eses en fer v . De chaque côté des sonnettes un câble est attaché à la moise t ; les deux câbles passent sur les poulies basses q , remontent passer sur les poulies hautes m fixées aux potences f , et ils redescendent s'enrouler chacun sur un des treuils r . Les choses étant disposées ainsi, des manœuvres agissent sur les treuils avec des leviers; ils tendent les câbles autant qu'il est possible, sans les rompre, ce qui néanmoins les allonge considérablement (1).

Les leviers sont alors appuyés contre l'épars o , et les manœuvres prenant les tiraudes battent à petits coups la tête du pieu avec le mouton b comme s'ils voulaient l'enfoncer dans le sol; mais, par suite de la tension des câbles, les percussions donnent aux pieux un ébranlement qui produit un effet tout contraire. Les cordages se raccourcissent, ils tirent le pieu qui sort de terre, et, cette manœuvre étant répétée, il finit par en être arraché, de sorte qu'il suffit de l'effort du cabestan x sur le câble z pour l'enlever complètement.

Lorsqu'on ne trouve pas que la cheville en fer v soit un moyen d'attache assez solide, relativement à la résistance que les pieux peuvent opposer à leur arrachement, on peut les saisir dans une tenaille annulaire, représentée fig. 34, appliquée sur un pieu et figurée à plat et ouverte, fig. 31; cette tenaille serre d'autant plus fort qu'elle est tirée plus fortement par les câbles m, m' .

Il en est de même d'une tenaille formée de deux demi-anneaux réunis par deux charnières, fig. 27, et armés chacun d'un ergot; il en est enfin de même encore de l'action d'un simple anneau en gros fer carré représenté par ses projections, fig. 36 et 37, et appliqué à un pieu, fig. 38, qui le saisit en y imprimant ses arêtes d'autant plus profondément que le câble m est tiré avec plus de force.

(1) Nous n'avons représenté sur le dessin qu'un seul manœuvre agissant sur le treuil pour ne pas couvrir inutilement la figure de personnages. On applique aux leviers des treuils autant d'hommes que possible pour produire le maximum d'effort.

§ 2. *Vérins arrache-pieux.*

La sonnette arrache-pieux que nous venons de décrire est celle dont Perronnet s'est servi et dont il conseille l'usage. Elle est d'un service assez commode et prompt, à cause de la facilité d'ébranler le pieu par quelques coups de mouton ; mais, comme on n'a pas toujours une sonnette de cette sorte à sa disposition, et qu'on peut ne pas être en mesure d'en construire une pour un petit nombre de pieux qu'on aurait à arracher, nous allons indiquer d'autres moyens dont on fait également usage avec succès.

La figure 42, pl. CLIII, représente un bâti en charpente qui porte un plateau *m* dans lequel est percé un écrou qui reçoit la vis *p* ; cette vis est terminée par une tête de cabestan comme toutes les vis de pression, et cette tête est traversée par deux barres *q*. Dans son bout inférieur elle est carrée et saisie, au moyen d'un boulon *t*, par la chape en fer *r*, d'un crochet à morillon *s* ; ce crochet reçoit une double estrope *v*, dont les boucles passent sous la grosse cheville de fer qui traverse le pieu *x*, qu'il s'agit d'arracher et qu'on a dégagé de la terre qui l'environne par un déblai fait tout autour.

En virant sur les leviers dans le sens convenable avec une force suffisante, le pieu est soulevé et arraché ; si la longueur de la vis ne suffit pas pour le faire sortir de terre sur une longueur assez grande pour qu'on l'enlève avec une chèvre, on élève le bâti de charpente sur des chantiers posés les uns sur les autres, en chaises.

Dans cette machine, que l'on nomme un *vérin*, le mouvement de la vis sur son axe, malgré le morillon, peut tordre l'estrope ; on doit lui préférer celle qui est représentée figure 43, même pl. CLIII, dans laquelle la vis *p* n'a point de mouvement de rotation, sa tête carrée est prise dans un plateau ou une moise *m* qui ne peut pas tourner entre les montants du bâti pour suivre les mouvements de la vis. La partie taraudée de la vis traverse un plateau *n* percé d'un trou rond, dans lequel porte une partie cylindrique de l'écrou extérieurement carré *o* pris dans l'enrayure de quatre leviers *g*.

La tête de la vis et le plateau *m* sont traversés par une cheville horizontale en fer *o* ; le pieu *p* est également traversé par une autre cheville en fer *o'*. Deux forts chaînons en fer et égaux *k* réunissent les deux chevilles, un chaînon se trouve de chaque côté du pieu ; on n'en peut voir qu'un seul dans la projection, fig. 43.

En virant sur les barres, l'écrou tourne, la vis monte et avec elle le plateau *m* et le pieu.

§ 3. *Levier arrache-pieux.*

On emploie efficacement un grand levier pour arracher les plus forts pieux.

La figure 35, pl. CLIII, indique comment on procède lorsqu'on veut user de ce moyen.

t étant le pieu à arracher, sa tête est traversée par une grosse cheville en fer horizontale r ; cette cheville est prise à chaque bout par un chaînon d'une grosse chaîne de fer.

La position de cette chaîne sur le pieu est marquée fig. 35; elle est répétée fig. 40, dans une projection verticale semblable, et fig. 41 dans une deuxième projection sur un plan perpendiculaire à la première.

Les deux longs anneaux dans lesquels passe la cheville sont appliqués le long du pieu t ; ils sont unis par cinq anneaux ronds, l'un desquels, marqué n , forme le milieu du développement de la chaîne. C'est dans cet anneau que passe le crochet en fer h dont est armé le bout du levier k , fig. 35, qui a pour point d'appui un prisme i de fer coulé porté sur un chantier d , qui est supporté par deux autres chantiers b parallèles, placés des deux côtés et tout près du pieu au-dessus de la petite excavation qui a été faite autour de sa tête.

Le levier k porte sur son point d'appui i par l'intermédiaire de la branche inférieure du grand crochet h .

Au moyen d'une petite chèvre p placée près du levier et tenue par un hauban, on élève le bout du levier; le dessin ne peut pas représenter ce hauban, vu qu'il est nécessairement, par derrière la chèvre, dans un plan vertical perpendiculaire au plan du dessin.

Lorsque le levier est assez haut, on accroche l'anneau n dans son crochet h ; si le point d'appui n'est pas assez élevé, on l'exhausse en augmentant le nombre des chantiers placés en dessous, ou en établissant des cales sous le prisme en fer coulé. Lorsque les choses sont ainsi disposées, on applique aux tiraudes r la puissance d'autant d'hommes que l'on juge nécessaire, puissance que l'on peut augmenter d'ailleurs en chargeant la queue du levier avec du lest, on force le pieu à sortir de terre; on exhausse, suivant le besoin, le point d'appui x , à mesure que le pieu s'élève, en augmentant le nombre des chantiers élevés en chaises autour de la tête du pieu.

Pour qu'il n'arrive point d'accident si le pieu cédait tout à coup, on soutient le levier par le câble de la chèvre, et l'on ne donne du lâche à ce câble qu'à mesure que le levier descend.

CHAPITRE XLIX.

MOUVEMENT DES FARDEAUX.

Dans tous les temps, chez toutes les nations, on a érigé des monuments monolithes, des obélisques, des colonnes, des statues en marbre et en bronze, et d'autres objets d'art pour l'embellissement des villes, pour honorer la mémoire des grands hommes, pour perpétuer le souvenir de quelque événement remarquable, ou de quelque titre de gloire.

Le transport et l'érection de ces monuments ont donné lieu à des opérations qui sont fondées sur les principes de la mécanique, car il s'est toujours agi de mouvoir des objets d'un grand poids, de les élever, de les dresser et de les établir enfin sur les bases qui devaient les supporter. Mais les procédés ont varié dans leurs détails suivant les temps, les lieux, suivant le volume, le poids, les formes et le travail des objets à mouvoir et selon les moyens d'exécution dont on a pu disposer.

Nous avons pensé qu'il pouvait être utile à nos lecteurs charpentiers de leur indiquer, par de succinctes descriptions, quelques-uns des procédés qui ont été mis en œuvre dans divers cas, et qui font essentiellement partie des applications de leur art.

I.

MONUMENTS DE MOYEN POIDS.

§ 1. *Établissement d'un vase.*

L'érection d'une statue ou d'un vase sur son piédestal se compose toujours de trois mouvements, l'un vertical pour hisser l'objet à la hauteur où il doit être placé, l'autre pour l'amener, dans le sens horizontal, verticalement au-dessus de la place qu'il doit occuper, et le troisième

pour le descendre en pose définitive. Le moyen le plus simple pour hisser un objet, c'est l'emploi d'un palan attaché à un point fixe suffisamment élevé, sauf à l'attirer au-dessus de sa place par un cordage qui saisit celui de suspension. Mais à défaut d'un point fixe que les localités pourraient fournir, on en établit un artificiellement au moyen de grues, de chèvres, ou de bigues. Comme on doit toujours donner la préférence aux procédés les plus simples, nous avons représenté, fig. 10, pl. CLV, pour l'érection d'un vase ou d'une statue, comment on supplée par deux bigues équipées en chèvre au moyen d'une ligature portugaise (1) à une chèvre d'assemblage qui est toujours préférable à l'emploi d'une grue, machine très-incommode à cause des lenteurs et des difficultés de son établissement, surtout dans des opérations qui ne doivent pas exiger un long travail.

Les deux bigues $a b$, $a d$, fig. 11, sont inclinées de façon que leur point de réunion o , qui représente le sommet d'une grande chèvre, répond verticalement au-dessus du point pris en avant du piédestal où a été déposé momentanément l'objet à ériger que nous supposons, dans la figure, être un vase.

Les bigues sont retenues dans cette position par un hauban $g p$ fixé à un pieu par l'intermédiaire d'un palan que le dessin ne marque pas entièrement, faute d'espace, et parce que la représentation complète de cet objet ne nous a pas paru indispensable à l'intelligence de notre description.

Le vase A qu'il s'agit de poser sur son piédestal D est entouré de deux ceintures de cordage mn , et de liens de suspension verticaux tv , en nombre proportionné à la pesanteur du vase; des coussins sont placés entre les cordages et la surface du vase pour que cette surface et ses ornements ne puissent être offensés par leur contact. Les liens verticaux sont tenus écartés par des baillons en croix $v v$.

Le palan $x y$ a servi à enlever ce vase verticalement. Le cordage de ce palan, après avoir passé sur la dernière poulie de la moufle supérieure, passe sur la poulie inférieure h et se prolonge pour s'enrouler sur un cabestan que, par les mêmes motifs ci-dessus, nous n'avons point représenté.

Lorsque le vase est élevé à une hauteur suffisante, comme le dessin le représente, on agit sur le hauban $g p$ au moyen du palan auquel il est attaché, et l'on redresse les bigues dans la position ab' , ad' jusqu'à ce que le vase se trouve verticalement au-dessus de son pied B dans la position A' ; on donne alors du lâche au palan de suspension $x y$ ou $x' y'$, et l'on fait lentement descendre le vase à sa place.

(1) Voyez la description de ce nœud, p. 589, et fig. 4, 5, 6.

Le piédocouche B a préalablement été posé de la même manière.

La manœuvre serait encore la même s'il s'agissait d'ériger une statue par le même moyen.

Une manœuvre inverse serait employée s'il s'agissait d'enlever le vase de son piédestal et de le descendre à terre.

§ 2. *Érection d'une statue.*

On peut ériger une statue, même colossale, sans employer de cordages, au moyen d'un échafaud fort simple dont on se sert notamment dans les circonstances qui ne permettraient pas l'emploi d'une chèvre ou de bigues.

La figure 8 de la planche CLV représente cet échafaud en élévation seulement; il est aisé, d'après la description suivante, de se figurer par la pensée ses autres projections. Il est composé de deux fermes pareilles à celle représentée dans la figure; elles sont écartées à une distance égale à celle qui sépare les deux jumelles $a b$, $a' b'$ qui en forment les montants, et elles sont liées sur les faces verticales perpendiculaires à cette projection par des traverses horizontales n . Des contre-fiches t , dans les deux fermes et dans les pans verticaux qui leur sont perpendiculaires, assurent la stabilité de l'échafaud.

La statue A qu'il s'agit d'ériger, a été amenée devant le piédestal B et posée sur un plateau m élevé sur deux chantiers.

Sous ce plateau sont passés deux longs leviers horizontaux et parallèles $p q$ appliqués en dedans de l'échafaud, l'un contre les jumelles de la ferme du devant de l'échafaud, l'autre contre la ferme de derrière, et toujours en dedans de l'échafaud.

Les choses étant disposées ainsi, avec les pattes de deux crics on souève également les extrémités des leviers, d'un même côté, ce qui fait pencher la statue; on a soin de ne pas trop élever les leviers pour que son centre de gravité ne sorte pas de la verticale passant par sa base. Dès que les leviers, soulevés également du même côté, laissent un intervalle suffisant, on passe au-dessous d'eux et entre les jumelles, du côté où le soulèvement a été fait, une aiguille o ; c'est une poutrelle qui sert de cale et sur laquelle, en détournant les manivelles des crics, on laisse reposer les leviers. On place ensuite les crics de l'autre côté de l'échafaud sous les extrémités opposées des leviers, qu'on lève de la même manière; bientôt la statue est penchée en sens inverse, et l'espace qui se trouve au-dessous des leviers est rempli par une autre aiguille passée dans les jumelles de ce côté. En soulevant ainsi alternativement les leviers, par une extrémité et par l'autre, et en passant des aiguilles à mesure que les

hauteurs où les leviers sont arrivés le permettent, on parvient à élever la statue au niveau de son piédestal, et avec autant d'exactitude qu'on le veut, en donnant aux dernières aiguilles les épaisseurs convenables et en se servant de cales.

Dans la figure, la statue est élevée à la hauteur qui a permis de placer huit aiguilles d'un côté et neuf de l'autre. Les leviers $p\ q$ sont dans une position qui fait pencher la statue à gauche, ils sont parvenus à cette hauteur au moyen des crics k . Nous avons ponctué ces leviers dans la position qu'ils avaient avant celle répondant à la position de la figure représentée en traits pleins.

Lorsque par cette manœuvre la statue est parvenue au niveau du dessus du piédestal, on la fait glisser sur des éclisses enduites de savon, par le moyen de crics posés horizontalement, ou de leviers.

Par un procédé exactement le même, mais inverse, on descend une statue de son piédestal.

§ 3. Érection d'une statue équestre.

Nous avons représenté, fig. 11, en projection verticale, un échafaud du genre de ceux qui ont servi à l'érection des statues équestres.

L'inspection du dessin suffit pour que l'on conçoive la construction de cet échafaud, composé de deux pans de bois égaux établis de chaque côté du piédestal E qui doit recevoir la statue équestre. Ces deux pans sont liés entre eux par des entretoises fixes z et des entretoises mobiles z' distribuées de manière qu'elles n'obstruent point l'intérieur ou qu'on puisse les changer de place suivant le besoin, pour qu'en aucun moment elles ne gênent la manœuvre.

La statue équestre P est conduite dans l'espace compris entre les deux pans de l'échafaud, portée sur un fardier dont nous ne donnons point le dessin, ce fardier étant un ouvrage de charonnage. La statue est enlevée verticalement au moyen des moufles p soutenant un cylindre horizontal r sur lequel passent des liens s qui saisissent le cheval par-dessous son ventre, et qui sont maintenues par les ceintures m dont on l'a entouré; les cordages o de ces moufles, qui composent avec eux des palans, s'enroulent sur des treuils x et y portés par un chariot destiné à parcourir la longueur de l'échafaud, au moyen de cylindres t roulant sur les sablières w qui couronnent la charpente; des câbles n et des treuils g déterminent et règlent le mouvement. Lorsque le chariot est parvenu dans la position qui place la statue exactement au-dessus du piédestal qu'elle doit occuper, et de façon que les tiges de fer b qui doivent la fixer répondent

aux trous des scellements qui leur ont été préparés, on détourne lentement les treuils x et y , les cordages mollissent et la statue s'abaisse à sa place.

§ 4. Procédé pour donner quartier.

Lorsqu'il s'agit de donner quartier à des corps de médiocre pesanteur comme les blocs de pierre, de granit ou de marbre destinés aux grands travaux, il suffit, lorsqu'ils sont bruts, de l'effort de quelques hommes avec des leviers pour faire tourner ces corps parallépipèdes sur une de leurs arêtes portant sur le sol ou sur des chantiers ou sur des vieux cordages. Mais il peut arriver que le corps auquel on veut donner quartier soit fragile, à raison de la matière qui le compose ou à raison de son volume et de son grand poids ou de quelques-unes de ses dimensions, ou même à cause de la délicatesse de quelques-unes de ses parties ou de la finesse de son travail, et il serait à craindre qu'il se brisât lorsqu'il retomberait en dépassant la position d'équilibre sur l'arête qui lui aurait servi d'appui pendant son mouvement. Nous avons représenté, fig. 4 de la pl. CLVI, le procédé usité en pareil cas.

Le bloc A occupe la position $a b c d$, on veut lui donner celle $a b' c' d$ en le faisant tourner sur l'arête passant par le point a . Le procédé dont il s'agit, consiste à caler pour une combinaison de bois en chaise B dont la hauteur augmente à mesure que le bloc en tournant sur son arête projetée en a s'approche de la position $a' b' c' d'$ dans laquelle le dessin le représente. On prépare une autre chaise D , du côté vers lequel on veut le faire descendre, pour l'y appuyer avant que son centre de gravité C dépasse la verticale passant par le point a .

L'élévation ou rotation du bloc s'opère au moyen de crics $p q$ convenablement placés; lorsqu'on peut passer une cale d'une épaisseur suffisante, on l'établit, et, en détournant les crics, on fait porter le bloc sur elle afin de pouvoir exhausser des crics sur des chantiers plus élevés et continuer l'opération. Dès que le bloc a dépassé la position d'équilibre, et qu'il pose sur la chaise D , on passe les crics de l'autre côté, c'est-à-dire du côté où il s'agit de l'abattre lentement. En opérant d'une manière inverse, on emploie les crics à soutenir le bloc pendant qu'on enlève peu à peu les cales et les bois formant chaises, et qu'on l'abaisse pour le faire descendre et reposer sur sa face $a b'$, qui d'abord était verticale en $a b$.

§ 5. Pierres du fronton du Louvre.

L'opération au moyen de laquelle on a transporté et mis en place les

pierres qui forment les cymaises du grand fronton de la colonnade du Louvre, à Paris, a une très-grande analogie avec celle qui se rapporte à l'érection d'une statue équestre.

Chacune de ces pierres, tirées des carrières de Meudon, a 16^m,892 de long, 2^m,599 de largeur, et 0^m,487 d'épaisseur seulement; elles pèsent 40 mille kilog. C'est moins leur poids que leur fragilité qui a rendu leur transport et leur pose difficiles. Chaque pierre fut établie sur un châssis dont les dimensions étaient proportionnées à leur longueur et leur largeur; ce châssis était suspendu sous une espèce de fardier par des cordages roulés sur les huit treuils qui avaient servi à l'enlever. Le fardier, portant la pierre, qu'il s'agissait d'élever et de poser, fut conduit devant l'emplacement qu'elle devait occuper, dans l'intérieur d'un immense échafaud. Après qu'on eut déposé le châssis sur le sol et fait sortir le fardier, les huit treuils de ce fardier furent placés sur le chariot du haut de l'échafaud pour enlever la pierre de toute la hauteur du bâtiment du Louvre. Lorsque la pierre fut élevée à cette hauteur, le chariot supérieur, porté sur des rouleaux, la transporta dans une direction perpendiculaire à la façade du Louvre. Lorsqu'on se fut assuré qu'elle répondait verticalement au-dessus de la place qui devait la recevoir, on la descendit en pose en faisant tourner les treuils en sens contraire et en lui donnant peu à peu l'inclinaison qu'elle devait avoir. Nous renvoyons, pour plus de détails, à la description donnée par Perrault dans sa traduction de Vitruve, et à l'extrait qu'en a fait Rondelet dans son *Art de bâtir*, tome IV, page 356.

§ 6. *Rocher de Saint-Pétersbourg.*

Nous ne regardons point le transport du rocher qui forme le piédestal de la statue de Pierre-le-Grand, à Saint-Pétersbourg, comme un ouvrage essentiellement du ressort de la charpenterie, de sorte que nous n'en faisons mention que parce que son transport est classé ordinairement parmi les manœuvres qui se rapportent aux mouvements des grands fardeaux. Nous renvoyons les personnes qui désireraient des détails sur les divers moyens qui ont servi dans cette grande opération, à l'ouvrage qui est entièrement consacré à la description des opérations et travaux auxquels elle a donné lieu.

Ce rocher irrégulier a une base de plus de 13 mètres de longueur sur une largeur de 8 mètres, et une hauteur de 7 mètres. Il pèse environ 1,500,000 kilogrammes. Il fut conduit, du lieu marécageux où on l'avait découvert, jusqu'à Pétersbourg, par eau, et du bord de la rivière,

au lieu qu'il occupe, par terre. Pour effectuer le transport sur le sol horizontal le rocher fut établi sur un châssis formé de poutres; les pièces latérales étaient creusées en dessous en gouttières, et garnies de bronze pour rouler sur des sphères également de bronze de 135 millimètres de diamètre, qui étaient reçues dans des gouttières également en bronze dont on garnissait la route à mesure que le châssis portant le rocher avançait tiré par les cabestans.

II.

MONOLITHES.

Les divers mouvements qu'on fait subir aux monolithes pour leur transport et leur érection, exigent une force extraordinaire que l'on ne peut obtenir que par le concours de l'action d'un grand nombre d'hommes, d'animaux et de machines d'une grande puissance. La science de la mécanique enseigne les moyens d'employer, avec avantage, les forces dont on peut disposer, nous n'avons point à développer ici les préceptes de cette science; mais pour mouvoir ces masses, souvent aussi embarrassantes par leur volume et leur forme que par leur énorme pesanteur, la théorie de la mécanique ne suffit pas. Des constructions auxiliaires, au moyen desquelles des machines simples qui transmettent l'action de la force motrice, doivent être établies pour que ces machines agissent avec le plus grand avantage. Ces constructions sont principalement composées de pièces de bois, et l'on emploie les cordages; dès lors l'art du charpentier est appelé à concourir à l'exécution des différentes opérations et manœuvres que le transport et l'érection de ces mouvements exigent.

Les monolithes les plus remarquables de l'antiquité sont les obélisques; les monuments et l'histoire ne nous ont presque rien appris sur les procédés qui furent employés pour leur transport et leur érection, qui étonnent d'autant plus que les anciens n'avaient point à leur disposition les moyens et les connaissances en mécanique que nous possédons aujourd'hui.

Les renseignements les plus anciens qu'on ait à ce sujet sont ceux donnés par Hérodote, qui raconte les faits sans indiquer comment on a opéré pour les accomplir. C'est ainsi qu'il rapporte qu'Amasis employa deux mille hommes pendant trois ans pour transporter un édifice d'un seul bloc, dont le poids est évalué aujourd'hui à 200 mille kilogrammes, de

l'île d'Éléphantines à la ville de Saïs, éloignées l'une de l'autre de vingt journées de navigation.

§ 1. Obélisque du grand cirque à Rome.

Vitruve décrit sous le nom de *trispastos* et de *pentapastos* les machines employées pour soulever de grands fardeaux; enfin, Ammien Marcellin ne fait qu'une description, fort incomplète, du transport et de l'érection de l'obélisque du grand cirque à Rome. Suivant plusieurs auteurs, ce fut Constantin qui fit venir cet obélisque de Thèbes à Alexandrie, et l'on était sur le point de le transporter à Constantinople pour le placer dans l'hippodrome, lorsqu'il mourut; Constance le fit conduire à Rome, et un autre fut placé dans l'hippodrome de Constantinople.

Voici comment Ammien Marcellin s'exprime au sujet de l'érection de cet obélisque, ce qui ne jette pas un grand jour sur les détails de cette opération.

Après avoir décrit comment il fut couché et transporté sur le Nil jusqu'à Alexandrie, puis par mer et le Tibre sur un vaisseau d'une grandeur inouïe mû par trois cents rames, d'Alexandrie jusqu'au bourg d'Alexandre, et pendant trois lieues par terre sur un traîneau jusqu'à Rome, il ajoute : « Il ne restait plus qu'à l'élever, ce qu'on croyait à peine pouvoir exécuter. Après avoir dressé, non sans péril, de hautes poutres dont le nombre ressemblait à une forêt, on y attacha de longs et gros câbles qui s'entrelaçaient comme une trame et dérobaient, par leur épaisseur, la vue du ciel. Par ce mécanisme cette masse, pour ne pas dire cette montagne chargée d'emblèmes, fut insensiblement élevée en l'air, et après y être demeurée longtemps suspendue, à l'aide de plusieurs milliers d'hommes qui semblaient tourner des meules de moulin, on le plaça au milieu du cirque..... »

On ne peut s'empêcher de voir ici les machines de Vitruve et l'usage des cabestans.

§ 2. Obélisque de Constantinople.

A l'égard de l'obélisque de Constantinople que l'empereur Théodose fit élever sur l'hippodrome et qu'il avait tiré, dit-on, de la cinquième région, on a gravé sur le piédestal qui le supporte un bas-relief dans le but d'indiquer le moyen qui fut employé pour le lever et le placer sur sa base, après l'avoir trainé couché jusqu'au point où on devait le dresser.

Nous donnons, fig. 5, pl. CLVI, une copie du dessin de ce bas-relief dans lequel on remarque, fixée à la base de l'obélisque, l'une des roues qui, probablement, a aidé à son mouvement lorsqu'on l'a transporté. On remarque aussi sur ce dessin les cabestans, les hommes employés à les mouvoir et même ceux assis à terre occupés à tenir les retraites des câbles; mais rien n'indique comment l'obélisque a été soulevé et dressé.

On voit que tous les renseignements, sur les moyens des anciens, pour mouvoir et ériger de pareilles masses n'ont rien d'assez précis et que les modernes ont été, pour ainsi dire, obligés de créer de nouveau ces procédés pour transporter et dresser sur leurs bases les obélisques dont ils se sont trouvés possesseurs.

§ 3. *Obélisque du Vatican.*

Les obélisques que Rome avait enlevés à l'antique Égypte, renversés et brisés lors des invasions étrangères, demeurèrent longtemps ensevelis sous les ruines et les décombres causés par divers incendies. Celui du cirque de Néron seul avait échappé à tant de dévastations, probablement à cause de l'exiguïté de la place où il était érigé (1).

Vers la fin du xvi^e siècle (1586), dit Scamozzi, cette circonstance fit considérer le transport de cet obélisque devant la basilique de Saint-Pierre comme une entreprise merveilleuse pour les temps modernes; plusieurs ingénieurs et mécaniciens proposèrent divers moyens d'effectuer ce transport. Zabaglia, que j'ai déjà cité page 354, a donné, dans son ouvrage, des esquisses qui indiquent les projets plus ou moins ingénieux, plus ou moins exécutables qui furent proposés; celui présenté par le chevalier Dominique Fontana fut accepté, et après beaucoup d'opposition, il fut seul chargé de l'entreprise.

Les fig. 1 et 3, de notre pl. CLVI, sont les projections verticales du grand *château* en charpente *A B B A* élevé au-dessus de la place qui devait recevoir l'obélisque. La base de ce grand échafaud, représenté fig. 2, sur une petite échelle, reposait sur le chemin en charpente *D A A D* construit en forme de digue pour conduire le monolithe au niveau de son piédestal; l'obélisque a été dressé entre les deux pans de cette charpente, comme nous l'avons indiqué en *O* en lignes ponctuées dans la figure 3.

Fontana se servit d'abord de son *château* pour enlever l'obélisque du piédestal qu'il occupait au cirque de Néron, et pour le descendre et le

(1) Cette place est si peu fréquentée que l'obélisque ne fut pas visité par maints voyageurs que la célébrité des monuments de Rome avait attirés.

coucher sur le plateau roulant qui devait le conduire à sa nouvelle place. C'est après le succès de cette première opération que Fontana fit remonter son château au-dessus du nouveau piédestal qui avait été construit à l'avance.

L'obélisque couché sur un plateau formé de fortes pièces de bois fut conduit sur des rouleaux jusque dans la position où il est indiqué en *O'*, fig. 1, 2 et 3.

Pour le descendre de son ancien piédestal, l'obélisque avait été enveloppé de bandes de fer. Celles dirigées dans le sens de la longueur étaient appliquées sur des planches; les autres les croisaient en forme de frettes. Ce revêtement lui fut conservé pendant son érection; il servit à attacher solidement les quarante moufles qui furent employées à le mouvoir; un pareil nombre de moufles était fixé aux poutres formant le couronnement du château. Autant de câbles combinés avec ces moufles, après avoir traversé les poulies de renvoi fixées à la base du château, étaient dirigés sur quarante cabestans distribués tout autour.

La force de deux chevaux et d'une vingtaine d'hommes était appliquée à chaque cabestan en agissant sur des barres.

Le 10 septembre 1586 des cérémonies religieuses précédèrent l'opération; elle fut dirigée par Fontana lui-même, dont les commandements étaient transmis par des signaux et au son de la trompette, pendant le plus profond silence; des ordres de la dernière rigueur avaient été donnés au nom du Pape, et les acclamations d'une foule immense annoncèrent le succès de cette hardie entreprise.

§ 4. *Obélisque de Saint-Jean-de-Latran.*

Fontana s'est servi du même moyen pour ériger l'obélisque de la place Saint-Jean-de-Latran à Rome : cet obélisque fut tiré par lui avec beaucoup de peine d'un marais fangeux; il était en trois morceaux. Le plus grand pesait 27 $\frac{1}{4}$ mille kilogr., l'obélisque total, plus grand que le précédent, pèse 469 mille kilogr. On croit que c'est celui attribué par Pline à Rhamsès.

Les morceaux furent érigés l'un après l'autre, et comme il était impossible de passer des cordages en dessous, parce qu'ils auraient empêché de joindre les surfaces des fractures, Fontana fit faire des entailles pour placer en croix des barreaux de fer dont les bouts facilitèrent la suspension de chaque morceau.

§ 5. *Obélisque d'Arles.*

Avant l'arrivée de l'obélisque de Luxor, celui d'Arles était le seul qui existât en France. Il a été érigé sur l'une des principales places de cette

ville. Il fut découvert, en 1389, dans les jardins des Augustins de Saint-Remi : on croit qu'il avait été érigé dans un cirque que l'empereur Constance avait fait construire en 354. Charles IX avait eu le projet de le faire relever, mais ce ne fut qu'en 1676 qu'il le fut en l'honneur de Louis XIV.

Cet obélisque est en granit rouge d'Égypte et sans hiéroglyphes; il a 17 mètres de hauteur, et quoique son poids soit de 1 000 quintaux, il fut, dit-on, suspendu en l'air et placé sur son piédestal en un quart d'heure, et par un procédé beaucoup plus simple que celui de Fontana, quoiqu'il fût fondé à peu près sur les mêmes principes.

On se servit de huit forts mâts de navires dressés autour du piédestal et liés ensemble par le haut avec des cordages; plusieurs palans composés de moufles dans lesquelles passaient de gros câbles reçus sur huit cabestans, suffirent à l'opération, qui eut le succès le plus complet. Ce procédé, au surplus, rappelle ceux indiqués par Vitruve.

§ 6. *Obélisque de Luxor.*

L'empereur Napoléon conçut le premier l'idée de l'érection, à Paris, d'un des beaux obélisques de l'Égypte. Le roi Louis XVIII pensa à réaliser cette belle entreprise; il chargea le consul général de France de négocier la cession de l'un des deux obélisques d'Alexandrie, dits *aiguilles de Cléopâtre*. Le vice-roi accorda l'un de ces obélisques à la France et l'autre à l'Angleterre; mais ces deux monolithes sont demeurés en Égypte sur leurs bases. Ce ne fut qu'en 1829, au sujet de la formation du musée égyptien, auquel on a donné le nom de musée de Charles X, qu'eurent lieu de nouvelles négociations par suite desquelles le vice-roi d'Égypte, Méhémet-Ali, donna à la France les deux obélisques de Luxor, que l'on nomma dans le pays les pierres du roi de France, et qu'il confirma le don antérieur qui avait été fait d'une des aiguilles de Cléopâtre.

Au commencement de l'année 1831, M. Lebas, ingénieur de la marine, fut chargé, par le Roi, d'aller enlever l'un des obélisques de Luxor et de le transporter à Paris.

Un bâtiment construit exprès pour ce transport reçut le nom de *Luxor*. Le 12 avril 1831, il partit de Toulon, chargé de tous les appareils nécessaires au succès de l'entreprise; le 3 mai, il mouilla à Alexandrie; le 19 juin, le *Luxor* et la flottille sur laquelle on avait transbordé les outils, cordages et agrès, appareillèrent de Rosette pour remonter le Nil; le 27 juin on arriva au Caire; environ un mois après on toucha la rive de Luxor. Après tous les préparatifs que nécessitait cette grande entreprise, maintes difficultés nées de l'éloignement d'une infinité de ressources, et malgré l'invasion du redoutable choléra dans la contrée, l'abatage de l'obélisque

eut lieu le 23 octobre 1831, et son embarquement le 19 décembre suivant. Il fallut ensuite attendre que le cours du Nil permit d'y naviguer, et ce ne fut que le 25 août 1832 qu'on put quitter le rivage de Luxor, pour redescendre le fleuve. Le 1^{er} janvier 1833, après avoir talonné plusieurs fois, le *Luxor* franchit la barre et entra dans la Méditerranée, conduit à la remorque par le *Sphinx*; il mouille à Alexandrie le 2, et appareille pour la France le 1^{er} avril; le 11 mai, il est sur la rade de Toulon. Après un mois de quarantaine il entre dans l'arsenal de ce port, pour n'y séjourner que quelques jours.

Le 10 août, M. Lebas, qui avait si habilement exécuté l'abatage et le transport de l'obélisque jusqu'à Toulon, est chargé, par le ministre des travaux publics, de son érection à Paris. Le 23 décembre 1833, après avoir remonté la Seine, le *Luxor*, porteur de son monolithe, est échoué sur la cale qui lui avait été préparée le long du quai de la place de la Concorde; on avait récemment décidé que l'obélisque serait érigé sur cette magnifique place.

M. Lebas a publié une description détaillée de ses ingénieux et savants procédés pour opérer l'abatage, l'embarquement, le transport et l'érection de l'obélisque, opérations qui ont eu l'éclatant succès que les talents éminents de cet habile ingénieur promettaient. Nous n'entrerons point dans les détails de toutes les opérations qu'il décrit avec une lucidité et un intérêt remarquables; nous nous bornerons à dire que l'embarquement du monolithe à Luxor, après qu'il a été couché sur le sol, a eu lieu en l'introduisant dans la cale du *Luxor* par une section faite suivant un plan vertical à l'avant du navire et en le faisant glisser au moyen de mouffes et de cabestans.

Les procédés d'abatage ont été pareils à ceux d'érection, dont nous nous bornons à donner une courte description.

Les figures 6 et 7, pl. CLVI, sont deux croquis, l'un représentant en projection verticale la disposition des appareils et du monolithe pendant l'érection, l'autre le plan correspondant. La légende suivante nous a paru suffisante pour donner une idée de cette belle opération. Nous ne nous sommes décidé à en parler dans ce chapitre que dans la vue de faire ressortir, par la comparaison avec le procédé de Fontana, toute la supériorité de la mécanique moderne sur celle du xvi^e siècle, et pour inspirer à nos lecteurs le désir de lire dans l'ouvrage de M. Lebas les détails intéressants qu'il donne, tant sur l'objet principal de sa mission, sur les procédés qu'il a employés et les recherches qu'il a faites, que sur le pays qu'il a visité.

L'ouvrage de M. Lebas est terminé naturellement par la description des procédés de Fontana, dont nous n'avons parlé précédemment que fort succinctement pour nous abstenir de copier, pour ainsi dire, ce que M. Lebas a traduit du récit que Fontana a fait de ses travaux pour l'érection de l'obélisque du Vatican.

a, fig. 6 et 7, pl. CLVI, partie du chemin ou viaduc en rampe, construit en charpente et porté sur un massif en maçonnerie pour la partie la plus élevée, et touchant au piédestal.

L'obélisque a parcouru ce viaduc depuis le point où le bâtiment qui l'a apporté l'avait débarqué; il a été conduit à force de cabestans sur un ber en pente en dessous, jusqu'au niveau de la surface du piédestal *D* qui devait le recevoir.

b', obélisque représenté avec le revêtement en bois qui l'enveloppait sur toute sa longueur. Il est figuré dans la position qu'il avait dans l'un des derniers moments de la manœuvre pour son érection. Il était précédemment couché horizontalement en *b* sur le ber *p*, et prêt à être dressé (1).

L'angle inférieur de la base de l'obélisque était garni d'un cylindre en bois, et se trouvait dans l'axe de ce cylindre, qui s'appuyait sur le piédestal dans une partie du socle. Ce cylindre a servi d'axe de rotation ou de charnière pendant le mouvement.

c, cylindre dont on vient de parler.

d, chevalet formé de dix mâts.

e, moise horizontale réunissant les dix mâts à leurs sommets.

f, pièce horizontale et arrondie en-dessous, recevant l'assemblage à tenons des dix mâts, et servant de charnière pour le mouvement du chevalet *d*.

g, différents assemblages servant à arc-bouter le piédestal, et à le lier au viaduc pour prévenir l'effet de l'effort du monolithe pendant son levage.

h, chevalet mobile servant à soutenir les cordages.

i, système de moises et de pieux servant à fixer des mouffles.

j, mouffles supérieures fixées au sommet du chevalet *d*.

k, mouffles fixes.

l, cordages des palans équipés à sept brins.

m, câbles qui partent de la moise *e*, et viennent passer en cravate autour du monolithe à 1^m,50 de son sommet.

n, cabestans, au nombre de dix, qui reçoivent les câbles des dix palans *l*, et auxquels la force de 480 artilleurs était appliquée.

(1) La hauteur de l'obélisque depuis sa base jusqu'à celle de son pyramidon est de.... 20^m,90

La hauteur du pyramidon est de.... 1^m,94

Hauteur totale..... 22^m,84

Ses bases ne sont point exactement carrées. Les quatre côtés de sa grande base ont 2^m,44 — 2^m,42 — 2^m,42, — 2^m,42

Ceux correspondants de sa petite base ont 1,50 — 1,50 — 1,58 — 1,58

Le volume de ce monolithe est de 85 mètres cubes et son poids est évalué à 229,500 kilogrammes, en supposant la densité du granit de Syène représentée par 2.70.

La fig. 7 ne représente, faute d'espace, que deux de ces dix cabestans (1) et six d'autant de mouffes, les quatre autres étant fixés à un système de moises et de pieux pareil à celui *i*, établi à 8 mètres en arrière, et que le dessin ne représente pas.

q, quatre chaînes de retenue en fer passant aussi en cravate autour du monolithe au-dessus des haubans, et répondant à des cabestans fixés au pied de la rampe du viaduc, et que le dessin ne représente pas. Ces chaînes ont eu pour objet de retenir le monolithe lorsque, pendant son érection, il est arrivé dans la position où son centre de gravité se trouvait dans la verticale passant par l'axe du cylindre *c*, afin qu'il ne se précipitât point sur sa base, ce qui aurait pu occasionner les plus funestes accidents. Ces chaînes ont permis, en retenant l'obélisque, de le laisser arriver aussi lentement qu'on a voulu dans sa position définitive.

Les lignes ponctuées *l*, *d*, *m'*, représentent la direction du palan *l*, la position du chevalet *d*, et celle des câbles *m*, lorsque l'obélisque était couché en *b*, et que la manœuvre de son érection allait commencer.

L'effort des 480 artilleurs appliqués aux barres des cabestans *t*, transmis aux palans *l*, a soulevé la moise *e*, et le chevalet *d*, qui en tournant sur sa charnière *f*, a soulevé le monolithe qui lui était attaché par les câbles *m*, jusqu'à ce qu'il fût arrivé dans la position *b''* en tournant sur son angle par le moyen du cylindre *c*. Dans cette position, l'action des cabestans et des chevalets a cessé : l'obélisque avait dépassé sa position d'équilibre un peu au delà de celle *b'*, et était retenu par la tension des chaînes *q*; son propre poids tendait à l'entraîner sur sa base, mais au moyen de ces chaînes on modéra sa vitesse.

Nous avons ponctué l'obélisque et le chevalet dans une position *b'* entre celle où il reposait sur son ber, et celle *B* où il est majestueusement arrivé sur sa base, en présence du Roi accompagné de sa famille, et devant l'immense population de Paris, qu'une opération si admirable avait rassemblée, et qui s'était comme associée à la gloire du succès qu'elle a accueilli avec le plus grand enthousiasme.

(1) Le calcul avait fait voir que pendant le mouvement de l'obélisque, en supposant son poids évalué à 250 mille kilogrammes, l'effort le plus grand à produire sur la moise *e* du grand chevalet, et qui irait en diminuant à mesure que le monolithe s'élèverait, serait de 104,000 kilogrammes. Chaque cabestan étant mù par 48 artilleurs, capables chacun d'une force de 12 kilogrammes au moins, il en résultait que les 480 artilleurs agissant en même temps sur les 10 cabestans, produisaient un effort de 145,000 kilogrammes, force motrice supérieure de 11,000 kilogrammes à celle nécessaire pour agir sur la moise *e*, et encore on a supposé l'effort de chaque artilleur seulement de 12 kilogrammes, quoique au besoin chacun d'eux aurait pu produire un effort de 15 et même de 20 kilogrammes.

III.

TRANSPORT DE BATISSES.

§ 1. *Colonne Antonine.*

Les colonnes monolithes se transportent et s'érigent de la même manière que les obélisques, mais on cite comme une opération au moins aussi remarquable le déplacement et l'érection de la colonne dite Antonine, à Rome, qui fut transportée et érigée à une nouvelle place, en 1705, comme si elle eût été monolithe, quoiqu'elle fût composée de plusieurs assises; elle avait été, préalablement à son déplacement, enveloppée dans une chemise en charpente, consolidée par des bandes et des cercles de fer, et l'on se servit en outre d'un échafaud du même genre que celui qui a servi pour l'obélisque du Vatican.

§ 2. *Chapelle du Presepio.*

On cite le déplacement de différentes constructions, telles que des portions de murs sur lesquelles se trouvaient de précieuses peintures à fresque que l'on voulait conserver : ces déplacements se sont effectués par des moyens analogues à ceux dont nous venons de parler.

Une des opérations les plus remarquables de ce genre est le changement de place de l'ancienne chapelle du Presepio de la basilique de Sainte-Marie-Majeure, à Rome, qui était à 57 pieds de la place qu'elle occupe maintenant, et plus élevée de 7 pieds. Cette chapelle, construite avec de mauvais matériaux, et percée d'une porte et d'une fenêtre, présentait peu de solidité; néanmoins, Dominique Fontana parvint en l'enveloppant d'une solide charpente, à la transporter d'une seule pièce, comme il aurait fait d'une chapelle monolithe.

§ 3. *Transport de clochers.*

On a lu dans la séance de l'Académie des sciences, du 9 mai 1831, une lettre de M. Gregori, qui cite comme une opération fort remarquable le transport d'un clocher en maçonnerie, avec sa flèche et ses cloches,

exécuté en 1777, à Crescentino, petite ville du Piémont, sur la rive gauche du Pô. Nous rapportons ici copie du procès-verbal qui constate cette opération.

« L'an 1776, le 2^e jour de septembre, le conseil ordinaire étant convoqué..., comme il est notoire que le 26 mai dernier a été exécuté le transport du clocher de la hauteur de 7 trabucs (22^m,50) et plus, de l'église dite la *Madonna del Palazzo*, avec le concours, en la présence et aux applaudissements d'une nombreuse population de cette ville, et d'étrangers accourus pour être témoins du transport du clocher avec sa base et sa forme entière, au moyen des procédés de notre concitoyen Serra, maître maçon, qui s'est chargé de transporter ledit clocher à une distance de 5 pieds liprando (3^m), et de le joindre ainsi à l'église en construction.

» Pour effectuer ce transport, on a d'abord coupé et ouvert les quatre faces des murs en briques, à la base du clocher et à fleur de terre; on a introduit dans les trous, du nord au sud, c'est-à-dire dans la direction que devait recevoir l'édifice, deux grandes poutres auxquelles se trouvaient parallèlement hors du clocher et sur ses flancs, deux autres rangs de poutres, de la longueur et étendue nécessaires pour l'assiette, la marche et la pose du clocher à sa nouvelle place où l'on avait d'avance préparé des fondations en briques et chaux.

» On a ensuite placé sur ce plan des rouleaux de 3 pouces et demi de diamètre, et sur ces mêmes rouleaux, on a mis un second rang de poutres de la longueur des premières. Dans le trou de l'est à l'ouest on plaça en forme de croix des poutres moins longues.

» Pour éviter l'oscillation du clocher, on le maintint par huit soliveaux, savoir : deux de chaque côté, lesquels étaient assemblés au bas sur chacune des quatre poutres, et dans le haut aux murs aux deux tiers de la hauteur du clocher.

» Le plan sur lequel devait rouler l'édifice avait une inclinaison d'un pouce. Le clocher fut tiré par trois câbles qui roulaient sur trois cabestans, dont chacun était mû par dix hommes. En moins d'une heure, le transport fut opéré.

» Il est à remarquer que, pendant ce transport, le fils du maçon Serra, placé dans le clocher, carillonna continuellement, les cloches n'ayant pas été déplacées.

» Fait à Crescentino, l'an et jour ci-dessus. »

La coupole de l'église à laquelle ce clocher est joint, absorbant le son des cloches, on a bâti depuis sur ce même clocher un étage de 6 mètres au moins pour l'élever au-dessus de cette coupole, et cela sans nuire à sa solidité.

Une opération du même genre a eu lieu récemment dans une petite bourgade entre Orbec et Lisieux (Calvados).

Après qu'on eut allongé l'église de Saint-Julien, de Maillac, il se trouva que le clocher en charpente qui était primitivement au-dessus du portail, se trouvait entre la nef et le chœur, à peu près au milieu de la longueur de l'édifice. Le sieur Nicolle, maître charpentier de Courson, fut mandé pour savoir s'il était possible de changer le clocher de place sans le démolir, et de le transporter sur le nouveau portail. Après s'être concerté avec le sieur Lamy, charpentier de Lisieux, ils se chargèrent tous deux de l'opération, moyennant la modique rétribution de 250 francs.

Le clocher a 75 pieds de hauteur de flèche au-dessus des murs de l'église, qui en ont 25. Le dessus des murs de l'église a servi de chemin pour conduire le clocher à sa nouvelle place. On a commencé par le moiser solidement, après quoi on l'a élevé au moyen de vérins de 16 pouces (environ 43 centimètres), pour passer en dessous deux poutres qui s'étendaient jusque sur les murs de l'église, et reposaient sur deux autres poutres dirigées dans le sens de la longueur des murs. Ces dernières poutres portaient chacune deux rouleaux à têtes de cabestans, raulant sur des sablières couchés sur les murs.

Six hommes agissant lentement et également avec des leviers embarrés dans les têtes des rouleaux imprimèrent le mouvement de translation au clocher. Dix heures de travail furent employées, le premier jour, pour lui faire parcourir 35 pieds (11^m,37); le second jour, la même manœuvre le fit arriver en 8 heures à son nouvel emplacement, distant de celui qu'il avait occupé, de 65 pieds (21^m,20). Pendant ce trajet, sept fois plus long que celui parcouru par le clocher de Crescentino, et qui ne dura que 18 heures, les cloches suspendues dans le clocher, comme à Crescentino, n'ont point cessé de sonner.

CHAPITRE L.

CONSTRUCTIONS ACCESSOIRES.

Nous donnons le nom de constructions accessoires à tous les ouvrages en bois qui ne constituent point un édifice, mais qui peuvent en faire partie ou être exécutés pour un usage particulier et même être mobiles, et dont l'exécution est dans les attributions du charpentier.

Les détails que nous avons donnés sur l'art nous dispensent d'entrer ici dans ceux d'une foule d'objets qui peuvent être classés parmi les ouvrages accessoires, et que tout ouvrier exécutera sans peine dès qu'il saura la destination de l'objet qui lui sera demandé. Il nous a paru, en conséquence, suffisant de ne comprendre dans notre planche CLVII que quelques-uns de ceux dont la construction pourrait laisser quelques incertitudes sur leurs formes et leurs dimensions.

§ 1. *Mangeoires, râteliers et stalles pour chevaux.*

La fig. 1, pl. CLVII, est le profil d'une mangeoire et d'un râtelier d'écurie. La hauteur de la mangeoire varie suivant la taille des chevaux qui doivent y être attachés. Une mangeoire ne doit pas atteindre le niveau de la bouche du cheval lorsqu'il est en repos, et le haut du râtelier doit être placé de façon que lorsque le cheval lève la tête pour atteindre le fourrage, sa bouche réponde à peu près au milieu du râtelier.

On place aussi dans les étables des mangeoires et râteliers pour les bêtes à cornes; leurs dimensions sont réglées sur la taille des bestiaux.

La fig. 20 est le profil d'une autre disposition de mangeoire et de râteliers avec séparations par stalles pour les chevaux de manège et les chevaux de prix.

La disposition des râteliers a pour objet que les graines du fourrage glissent dans les mangeoires, et que les feuilles et les débris ne tombent point sur les têtes des chevaux. Les séparations par stalles sont faites à claire-voie; autrefois on faisait les stalles pleines et on leur donnait une forme en doucine que nous avons ponctuée. Mais celle que

nous avons représentée en traits pleins, dans la fig. 20, et que nous avons eu occasion de faire exécuter à Metz pour les chevaux du manège de l'École, est préférable en ce qu'elle est plus simple et qu'elle laisse l'air circuler plus librement.

§ 2. *Guérites.*

La figure 2, pl. CLVII est l'élévation et la figure 3 la coupe, par un plan vertical perpendiculaire au plan de projection de la figure 2, d'une guérite pour sentinelle. Cette guérite a son toit à un seul égout; elle est portée sur une enrayure formant un patin qui assure sa stabilité pour que, placée sur le rempart élevé d'une place de guerre, elle ne soit pas renversée par le vent.

Les figures 7 et 8 sont de même l'élévation et la coupe d'une guérite avec un toit à deux égouts, portée seulement sur quatre pieds, en usage dans l'intérieur des villes.

Aujourd'hui on double les toits des guérites, extérieurement, avec une feuille de zinc posée sur le toit en planches.

§ 3. *Portes et contrevents.*

La figure 10, pl. CLVII, est la projection sur la face intérieure d'un contrevent ou d'une porte, en madriers joints à rainures et languettes et avec clefs, et consolidé par des barres ou une écharpe établies sur la face intérieure.

La figure 9 montre, sur une échelle double, l'assemblage des traverses sur les planches ou madriers des contrevents; cet assemblage est usité par quelques charpentiers qui ne trouvent point qu'il soit suffisant de clouer les barres à plat sur les planches. Ces barres pénètrent à queue d'hironde dans les planches, et la queue d'hironde occupe en dessous un espace un peu plus large à un bout qu'à l'autre; la rainure est tracée de même, de façon qu'en introduisant la barre dans son encastrement on la serre autant qu'on veut, en la chassant à coups de maillet.

J'ai fait exécuter, avec succès, des contrevents sans barres ni écharpes, en donnant un peu plus d'épaisseur aux planches et en les traversant toutes sur leurs épaisseurs par trois boulons distribués sur la hauteur et serrant les joints à rainures et languettes. Cette construction a l'avantage de permettre de serrer les joints des planches lorsque la sécheresse les fait ouvrir.

Lorsqu'on ne peut pas tailler dans les baies en maçonnerie des feuillures

pour recevoir les portes et les contrevents, on les remplace par des châssis *dormants* qui reçoivent les battants dans leurs feuillures. Les trappes que l'on pratique dans les planchers pour le passage des ballots et autres objets d'un étage à un autre, et pour fermetures de caves, sont construites, tant pour leurs châssis dormants que pour leurs battants, de la même manière que les contrevents.

§ 4. *Baraques pour logements de troupes.*

Les figures 15 et 25, pl. CLVII, sont des coupes faites dans des baraques en planches pour logements de troupes en campagne.

Les fermes en planches épaisses sont espacées de 2 mètres à 2^m,60 pour qu'il se trouve toujours entre elles un nombre exact de places pour coucher les soldats.

Les baraques pour chevaux sont construites à peu près de la même manière que celles de la figure 15, sinon qu'on leur donne un peu plus de hauteur; les mangeoires et râteliers établis en planches se placent au milieu de la baraque pour deux rangs de chevaux qui se font face.

§ 5. *Moutons de cloches.*

La figure 6, pl. CLVII, fait voir comment une cloche est attachée au mouton en bois qui sert à la suspendre; ce mouton porte des tourillons en fer sous ses extrémités arrondies pour être solidement frottées. La cloche est attachée au moyen de brides qui passent dans ses anses et qui sont retenues par des étriers et d'autres brides serrés par des coins.

La fig. 5 est la projection du mouton dégagé de la cloche et des ferrures, et la figure 4 est une projection du même mouton vu par le bout.

§ 5. *Pavés en bois.*

L'usage des pavés en bois est répandu depuis longtemps en Russie et en Allemagne; on en a établi, avec succès, sous des passages fréquentés par des voitures, au château de Versailles, actuellement Musée historique. Nous donnons, fig. 11, le plan d'un pavage de ce genre tel que nous l'avons vu exécuter en 1838.

La figure 12, pl. CLVII, est un profil de la même partie, et la figure 13 est un pavé isolé, vu suivant sa hauteur. Les fibres du bois, dans ce pavage, sont verticales, les pavés sont des prismes quadrangulaires tous égaux, ayant

leurs surfaces horizontales de 0^m,155 de côté; leur hauteur, de 0^m,330, est divisée dans son milieu par une rainure de 0^m,030 de largeur et de 0^m,015 de profondeur.

Lorsque tous les pavés sont assemblés, toutes les rainures sont au même niveau et elles sont remplies à mesure que l'on pose les pavés par des liteaux en bois de chêne pour les lier et les rendre tous solidaires les uns des autres.

Ce pavé est établi sur un lit de sable bien battu; aucune matière n'est interposée dans les joints.

M. Hawkins a fait, dans plusieurs quartiers de Londres, l'essai du pavage en bois, qui a fort bien réussi.

Tous les bois sont propres à ce genre de pavage. Le pin est préférable au sapin et au peuplier; le bouleau et l'érable sont préférables au pin; l'ormeau, le frêne et le chêne sont préférables à tous les autres bois. On fait choix du bois suivant la fréquentation de la route, et dans un chemin assez large, pour que le milieu soit plus fréquenté que ses côtés, il faut placer les pavés en bois le plus dur dans cette partie.

Ce genre de pavé est très-durable; on estime qu'il n'a besoin d'être renouvelé que tous les six ans. On s'est servi à Londres de bois *kianisés*. (Voyez t. 1^{er}, p. 216.) On pense à Londres qu'il suffit de donner aux pavés 0^m,20 de hauteur; nous croyons qu'il y a avantage à leur donner une dimension plus forte, afin qu'on puisse redresser la surface lorsqu'elle est usée.

Le frottement des roues est peu considérable et le roulage extrêmement doux.

Lorsque les pavés sont trop usés, on les vend pour le chauffage, toutefois lorsqu'ils n'ont pas été *kianisés*.

On fait usage de pavés carrés lorsqu'on n'a à sa disposition que des bois équarris; mais lorsque au contraire on peut avoir des bois ronds, il y a économie de bois en faisant les pavés à six pans, comme ceux que nous avons représentés, fig. 14, parce qu'il y a moins de bois perdu.

Le pavage en bois est plus propre que celui en pierre, et il produit moins de boue; on a reconnu qu'il est glissant pendant les gelées, mais il est facile de remédier à cet inconvénient.

On avait déjà fait, avec succès, en 1838, un essai de pavés en bois debout, au Havre, sur le quai Lamandé; ces pavés en bois de pin, goudronnés, étaient joints et comme maçonnés avec du mastic d'asphalte.

On regarde l'emploi du pavage en bois debout comme beaucoup moins dispendieux que toute autre espèce de pavé.

CHAPITRE LI.

DEVIS.

§ 1. *Devis descriptif.*

Les ouvrages de charpenterie peuvent être exécutés, comme tous les autres genres de constructions, de trois manières : par économie, à forfait et au *mètre cube*.

Dans l'exécution par économie, qui procure ordinairement la meilleure façon des ouvrages et rarement une économie réelle, celui qui fait exécuter fournit les matériaux et paie à la journée le maître charpentier et les compagnons qui travaillent les bois. Les prix des journées sont fixés suivant les usages du pays, et comprennent la fourniture des outils.

Pour l'exécution à forfait, une somme déterminée est payée pour l'exécution de la totalité du travail, fourniture d'outils, agrès et échafaudages compris; cette somme est ordinairement déterminée par un rabais sur le montant de l'état estimatif.

Lorsque l'exécution est faite au *mètre cube*, le travail est payé en raison du volume des matériaux mis en œuvre, suivant les conditions établies dans le devis, et souvent d'après un rabais résultant d'un concours par adjudication.

Le prix du *mètre cube* comprend la valeur du bois, lorsqu'il est fourni par l'entrepreneur.

Si les matériaux lui sont fournis, le prix du *mètre cube* ne se rapporte qu'à la main-d'œuvre. C'est ce qui arrive lorsque celui qui fait faire un ouvrage en charpenterie a du bois neuf dans ses magasins, ou qu'il fait remettre en œuvre des bois provenant de la démolition de quelque ancien ouvrage, ce qui donne lieu à trois classes de prix.

De quelque manière que des travaux soient entrepris, il faut un devis pour en régler l'exécution.

Un *devis*, comme ce mot l'annonce, est un discours écrit et descriptif de l'objet à construire. Il accompagne les dessins du projet et fait connaître, dans le plus grand détail, l'édifice en bois projeté et toutes ses parties; il établit en outre, toutes les conditions, sujétions et procédés particuliers, s'il y en a qui soient prescrits pour l'exécution, afin d'en assurer la perfection. Le devis indique toutes les qualités exigées, dans les bois à employer,

les vices et défauts particuliers qui sont prohibés, et enfin les formes et dimensions de toutes les pièces, non-seulement dans leurs parties apparentes, mais dans celles qui pourraient être cachées par suite de leurs combinaisons et de leurs assemblages.

On ne doit point confondre le devis avec l'estimation du travail.

Le devis est l'énoncé clair et précis des conditions imposées, par celui qui a conçu une construction, à celui qui doit l'exécuter, afin que l'exécution soit la plus parfaite possible, qu'elle soit conforme au projet et qu'elle remplisse le but qu'on s'est proposé. Dès que celui qui doit exécuter l'ouvrage a accepté le devis, en se chargeant du travail auquel il se rapporte, ce devis est un acte obligatoire entre les deux parties.

L'estimation ou devis estimatif est l'évaluation de la dépense à faire pour l'exécution, en se conformant aux conditions du devis.

L'estimation sert de base au marché pour le prix, en argent, de l'exécution suivant les conditions du devis.

Le plus grand ordre doit être établi dans la rédaction du devis, qui peut être partagé en chapitres ou titres et subdivisé en sections, suivant la nature des détails qui y sont expliqués.

Dans les devis généraux des grandes constructions, un titre particulier est ordinairement consacré aux ouvrages de charpenterie; il doit contenir les mêmes détails qu'un devis particulier d'une construction uniquement en bois. Nous ne donnons point de modèle de devis par la raison que chaque ouvrage peut donner lieu à des détails qui ne peuvent convenir à un autre; nous nous bornons à l'indication sommaire des objets qui doivent être traités dans un devis d'ouvrage en charpente :

- 1° Objet, description et dimension de l'ouvrage à exécuter ;
- 2° Établissement, construction et tracé des ételons ;
- 3° Espèces de bois qui doivent être employées, qualités exigées, et vices prohibés pour chacune d'elles; spécifications des conditions d'achat et de réception avant la mise en œuvre ;
- 4° Travail général des bois, tant à l'égard de l'équarrissage, que touchant l'exécution et la perfection des assemblages ;
- 5° Dimensions et équarrissage des diverses pièces qui doivent faire partie de la charpente, suivant leur objet ;
- 6° Tracé des courbes qui lui sont particulières, et mode d'exécution des courbures ;
- 7° Procédés particuliers de levage exigés ;
- 8° Mode de vérification et de réception de l'ouvrage.

§ 2. Analyse et bordereau des prix.

L'estimation de la dépense que nécessitera l'exécution d'une charpente exige la connaissance du prix de l'unité de mesure de chaque espèce d'ouvrage qui concourt à cette exécution.

Ces prix sont, la plupart du temps, établis par l'usage des lieux où les travaux sont exécutés; mais une appréciation d'après des usages ne peut satisfaire le charpentier ni le constructeur, qui doit connaître l'estimation de la valeur de chaque ouvrage, pour établir la limite de l'abaissement du prix auquel l'ouvrage peut être fait.

L'analyse d'un prix est le calcul fait pour établir cette limite; les éléments des prix sont :

1° Le prix d'achat du bois au lieu d'exploitation comprenant les frais d'exploitation, et quelquefois ceux d'équarrissage;

2° Les frais de transport au chantier et ceux d'emmagasinement;

3° Les frais de main-d'œuvre établis d'après l'expérience que chacun a du temps nécessaire pour dresser les bois, les mettre sur lignes, les piquer, les assembler, les tailler et mettre au levage (1).

(1) Le tableau suivant indique, approximativement le temps estimé nécessaire au travail du bois, pour l'unité de mesures métriques, de diverses sortes d'ouvrages de charpenterie, levage compris.

	JOURNÉES DE		
	maître charpentier.	compagnons charpentiers.	manœuvres.
Charpente sans assemblages. <i>Pour un mètre cube.</i>	1/10	2	1
<i>Id.</i> assemblée par entailles			
ou queues d'hironde <i>id.</i>	1/2	5	1
<i>Id.</i> , <i>id.</i> à tenons et mortaises <i>id.</i>	1/2	7	2
<i>Id.</i> , <i>id.</i> , <i>id.</i> de fortes dimensions <i>id.</i>	1	8	3
<i>Id.</i> de pièces courbes <i>id.</i>	1 1/2	12	2
Planchers de pied, et portes. <i>Pour un mètre carré.</i>	1/20	1/2	»
<i>Id.</i> pour couverture <i>id.</i>	1/50	1/10	»
Sciage de long en vieux bois			
de chêne <i>id.</i>	»	2 5	»
<i>Id.</i> en bois de chêne neuf <i>id.</i>	»	1 3	»
<i>Id.</i> en sapin et bois blanc <i>id.</i>	»	1 4	»

- 4° Le déchet éprouvé par le débit du bois et la taille des assemblages;
- 5° Les faux frais occasionnés par diverses circonstances du travail;
- 6° Le bénéfice équitable que l'entrepreneur du travail doit avoir.

Le calcul s'établit sur un nombre de mètres cubes assez considérable pour atténuer les erreurs qui peuvent être faites; on prend ordinairement pour terme de comparaison et d'expérience les renseignements qu'on a pu se procurer sur des ouvrages construits avec intelligence et économie, et les prix équitables des journées d'ouvriers charpentiers établis dans le pays. La somme trouvée pour la dépense totale est divisée par le nombre de mètres cubes sur lequel on l'a calculée; le quotient, augmenté de $1/15$ pour les outils, et de $1/10$ pour l'entrepreneur, est le prix du mètre cube résultant de l'analyse, et qu'on peut appliquer à l'estimation des ouvrages de même nature.

On forme un bordereau de tous les prix pour y avoir recours lorsqu'il s'agit de dresser un état estimatif ou un métrage.

§ 3. *État estimatif.*

Le devis d'un ouvrage est ordinairement accompagné d'un devis de la dépense ou état estimatif; car il ne suffit pas de décrire un ouvrage projeté, il faut encore indiquer ce que son exécution coûtera. Un état estimatif est donc l'énumération de toutes les dépenses nécessaires à l'exécution, tant sous le rapport de la valeur des matériaux que sous le rapport de la valeur du travail pour les mettre en œuvre.

Dans un état estimatif les pièces de bois sont désignées dans le plus grand ordre, chacune par la dénomination qui lui convient, suivant la place où elle doit être employée; sur la même ligne ses dimensions en longueur et en équarrissage et, finalement, son volume sont inscrits. Les pièces de même bois sont énumérées et calculées ensemble; à la somme de leurs volumes on applique le chiffre du prix de l'unité cube qui convient à cette espèce de bois. Ce prix comprend ordinairement la valeur de la main-d'œuvre, à moins qu'il ne s'agisse de bois qui ont déjà servi, qu'il s'agit d'employer de nouveau et auxquels on n'applique que le prix de la main-d'œuvre, qui est ordinairement évalué au mètre cube, à moins que quelques circonstances, fort rares, ne déterminent à évaluer la main-d'œuvre de travail en nombre de journées, auxquelles on applique leur valeur en argent.

Quelques parties du travail, telles que les planchers et les lattis et autres sortes de revêtement, sont ordinairement estimées au mètre carré.

On fait une récapitulation qui est occasionnée par la diversité des espèces de bois et les différentes natures d'ouvrage, on y comprend toutes les dépenses accessoires et celle pour les différentes ferrures employées dans la charpente. Le total final de toutes les dépenses partielles est la valeur de la dépense estimée nécessaire pour l'exécution de l'ouvrage.

§ 4. *États d'approvisionnements.*

L'état estimatif de la dépense à faire pour l'exécution d'un ouvrage en charpente est ordinairement suivi d'un état d'approvisionnements; c'est un extrait de l'état estimatif énonçant le nombre des pièces nécessaires à l'exécution, augmenté d'un vingtième, pour parer à peu près aux accidents et besoins imprévus.

Dans cet état les pièces de bois sont classées par espèce de bois, dans chaque espèce par équarrissage, et dans chaque classe d'équarrissage par longueur pour chacune, à moins que les longueurs des pièces de ces équarrissages ne soient pas déterminées par les places qu'elles doivent occuper, auquel cas on peut les désigner par le nombre de mètres courants qui sont nécessaires.

À la suite de la désignation de chaque pièce, ou du nombre de pièces de mêmes dimensions, on doit inscrire leur volume afin qu'on puisse connaître le nombre de mètres cubes de chaque espèce de bois qui doit être approvisionnée, et par une récapitulation de volume de l'approvisionnement total.

On comprend dans cet état l'évaluation des bois en mètres carrés ou en mètres courants, qui doivent être approvisionnés, tels que madriers, planches et voliges. On y comprend aussi le poids des différentes pièces de fer nécessaires à l'exécution du travail.

§ 5. *Marchés.*

Le marché est la convention écrite ou verbale d'après laquelle un ouvrage déterminé ou une certaine quantité d'ouvrage sera exécuté suivant les conditions imposées par un devis ou par un extrait de ce devis, qui forme alors ce qu'on appelle le *Cahier des charges*, dans lequel toutes les conditions du marché sont clairement énoncées, tant sous le rapport de la façon et de la qualité du travail que sous celui des charges et de la responsabilité pour un temps spécifié, imposées à l'entrepreneur.

Le marché est à forfait quand le travail est entrepris en totalité pour un

prix déterminé, sans qu'il soit nécessaire de le mesurer après l'exécution, et la réception en est faite après vérification pour s'assurer que toutes les conditions ont été remplies, les formes et les dimensions observées et le travail exécuté à la satisfaction de celui qui l'a commandé.

Si le marché a été fait au mètre, le paiement ne peut avoir lieu qu'après un métrage exact du travail exécuté, dressé après vérification et réception du travail.

Les marchés se font à prix débattus et discutés, ou par soumission cachetée ou par adjudication au rabais.

Dans l'adjudication par soumission, chaque concurrent déclare par écrit le prix auquel il consent à faire chaque espèce d'ouvrage au-dessous de celui de l'estimation qui a été préalablement faite.

Dans l'adjudication au rabais, les concurrents offrent verbalement des rabais à tant pour cent au-dessous des prix résultant d'analyses et inscrits au bordereau qui leur a été communiqué.

Dans l'un et l'autre cas, des rabais trop considérables, occasionnés par des concurrences trop acharnées, ne peuvent produire de bons résultats, ils font naître de fréquentes discussions et de fâcheuses supicions sur la bonne exécution des travaux ou sur la rémunération équitable des entrepreneurs.

§ 6. *Attachements.*

Les attachements sont des mesures prises sur les travaux exécutés, qui ne seront plus apparents lorsque l'édifice sera terminé et qui, ne laissant point de traces matérielles, sont néanmoins dus à l'entrepreneur; ou qui doivent lui être comptés, en raison de variations accidentelles pendant l'exécution, et que les devis n'ont pu prévoir autrement qu'en énonçant qu'il en sera tenu compte dans le métrage définitif. Ces attachements mentionnent les dimensions et l'objet de l'ouvrage *attaché*, et où il est exécuté; quelquefois même on y joint des dessins ou des croquis cotés qui les représentent. Les attachements comprennent aussi les journées des ouvriers et fournitures extraordinaires non prévues dans le devis et qui doivent être payés à l'entrepreneur du travail.

§ 7. *Vérifications et réceptions.*

Un ouvrage en charpenterie ne peut être accepté pour en faire le métrage qui doit servir au paiement qu'après que la vérification en a été faite pour constater que le travail a été exécuté avec la perfection et l'exac-

titude exigées, et que les conditions du devis, du cahier des charges et des marchés ont été remplies. On constate quelquefois la réception par un procès-verbal.

§ 8. *Métrage* (1).

Le métrage d'un ouvrage en charpente est le mesurage des éléments de la construction de cet ouvrage tel qu'il est exécuté.

Le métrage est établi dans le même ordre et par la même méthode que l'état estimatif; les dimensions des pièces y sont cotées en longueurs et équarrissages d'après les mesures prises sur l'ouvrage même, et les prix sont appliqués, non pas suivant ceux mentionnés aux analyses et devis, mais selon ceux du marché.

La récapitulation des valeurs des diverses espèces d'ouvrage et des frais accordés par le marché forme le total de la somme à payer à l'entrepreneur qui a exécuté l'ouvrage par lui-même ou avec l'aide des compagnons employés à son compte.

(1) Autrefois, la mesure d'un ouvrage exécuté était appelée *toisé* : on aurait pu adopter la dénomination analogue de *métré* : l'usage a fait prévaloir celle de *métrage*.

CHAPITRE LII.

CUBAGE DES BOIS DE CHARPENTE.

La calcul est employé, dans l'art de la charpenterie, dans trois circonstances :

1° Pour connaître le volume, le poids et la valeur des pièces de bois;

2° Pour fixer les dimensions de l'équarrissage des pièces employées dans une charpente, à raison des différents efforts auxquels elles ont à résister;

3° Pour déterminer les poussées exercées par les charpentes sur leurs propres parties ou sur les murs des édifices.

L'application du calcul au cubage des bois fait le sujet du présent chapitre; les deux autres applications sont l'objet du chapitre suivant.

§ 1. *Unité de mesure.*

Dans divers cas, le charpentier doit connaître le volume des pièces de bois, soit qu'il s'agisse de les acheter ou de les vendre, soit qu'il faille connaître en quelle proportion elles entrent dans la dépense totale d'une construction, soit enfin que l'on veuille calculer les efforts qu'elles exercent sur certaines parties de l'édifice.

Aujourd'hui l'emploi du système métrique, généralement adopté en France, rend les calculs d'une grande facilité, et l'usage de ce système étant devenu depuis longtemps familier aux charpentiers, nous sommes dispensé de donner des exemples du calcul métrique des bois de charpente. Mais, avant l'établissement de ce nouveau système, le cubage des bois était si long, on peut dire même si compliqué, que l'on s'était vu forcé de former, pour les charpentiers et constructeurs, des tables dans lesquelles les expressions des volumes se trouvaient indiquées devant les dimensions de toutes les pièces en usage le plus ordinairement dans les travaux.

Quoique ces méthodes de calcul ne soient plus pratiquées, et que l'usage en soit même prohibé, il n'est peut-être pas sans utilité d'en conserver le souvenir : on peut d'ailleurs être dans la nécessité de recourir à

d'anciens toisés pour quelques recherches d'art ou quelques vérifications; c'est le motif qui nous a déterminé à rappeler succinctement les anciennes méthodes.

Dans les travaux de construction, les ouvrages en maçonnerie et les terrassements étaient autrefois mesurés à la toise courante, carrée ou cube, suivant la nature de ces ouvrages. La toise, comme on sait, est un peu moindre que 2 mètres; elle est regardée comme étant égale à 1^m,949036.

Cette unité de mesure cubique se trouvait trop grande pour le cubage des bois, parce que si le volume des ouvrages en charpente d'un édifice eût été calculé en toises cubes, le nombre qui aurait exprimé ce volume, pris abstractivement, aurait toujours été beaucoup plus petit que ceux, également pris abstractivement, qui auraient exprimé les volumes des autres travaux. Les prix pour l'exécution des ouvrages en bois se seraient trouvés alors représentés par des nombres en apparence beaucoup trop grands où le prix de l'unité aurait paru beaucoup trop cher, par rapport au volume et à la dépense, ou au prix des autres espèces d'ouvrages, ce qui aurait jeté une espèce de défaveur sur les constructions en bois et les aurait fait paraître, d'ailleurs à cause du nombre représentant leur volume, comme de trop minime importance et néanmoins fort chères.

D'un autre côté, très-peu de pièces de bois, même dans les plus grands travaux, atteignent le volume d'une toise cube, de sorte que, pour le plus grand nombre des pièces, leurs volumes se seraient trouvés exprimés par des fractions ou par des nombres complexes, ayant le chiffre zéro au rang des unités principales, ce qui aurait compliqué, sans utilité, l'écriture des nombres et les calculs.

Par suite de ces considérations, les ouvriers charpentiers avaient adopté une unité de mesure de solidité particulière dont le volume était le plus fréquemment égal ou peu différent de celui du plus grand nombre des pièces qu'ils mettaient en œuvre dans leurs travaux, et ils donnèrent à cette unité le même nom qu'à ces pièces, celui de *solive*.

La *solive*, unité de mesure des anciens charpentiers, était donc un solide de 2 toises de longueur et de 6 pouces sur 6 pouces d'équarrissage, ou un solide de 1 toise de longueur et de 12 pouces sur 6 pouces d'équarrissage, ou un solide de 3 pieds de long et de 12 pouces sur 12 pouces d'équarrissage.

Quoique de formes différentes, ces solides sont égaux et équivalents chacun à 3 pieds-cubes ou à la soixante-douzième partie de la toise cube.

Le sixième de la longueur d'une *solive*, quelle que fût celle des trois formes ci-dessus qu'on lui supposât, était le *ped de solive*. Le douzième de la longueur du pied était le *pouce*, et le douzième du pouce était la

ligne; d'où il suit que le système de la division de la *solive* était le même que celui de la division de la *toise*.

La mesure du volume des pièces de bois se trouvait exprimée en nombre de solives, pieds, pouces et lignes de solive, comme les volumes des autres natures d'ouvrages et dans un rapport convenable entre les unités des diverses espèces de travaux.

Dans les très-grands travaux, et notamment dans les grandes exploitations, le volume total d'une grande quantité de bois se comptait au cent de solives pour éviter d'écrire des nombres trop considérables.

Autrefois, les bois de charpente se mesuraient, en Normandie et dans les provinces voisines, à la *marque*, qui était de deux espèces, suivant qu'on la supposait, de 96 ou de 300 *chevilles*, et les *chevilles* étaient de 12 pouces cubes représentant des solives de 1 pied de long et de 1 pouce d'équarrissage, par conséquent à peu près égaux à ceux débités à la fente pour faire les chevilles servant aux assemblages; ainsi le pied cube contenait 144 chevilles.

La solive en usage comme unité de mesure, à Paris et dans presque tout le reste de la France, contient 432 chevilles.

Le *mètre cube* est aujourd'hui l'unité de mesure des bois et ouvrages de charpenterie (1) comme de toutes les autres espèces d'ouvrages de construction. Cette unité étant un peu plus forte qu'un huitième et moindre qu'un septième de la *toise cube* (2), et un peu plus forte que neuf fois le volume de la *solive* (3), la disproportion qu'aurait établie anciennement l'usage de la *toise cube*, pour la mesure des bois et des ouvrages en charpente, disparaît aujourd'hui en grande partie par l'adoption du *mètre cube*, et l'on a pu, sans inconvénient, adopter cette unité de mesure dans la charpenterie.

Au moyen de la division du *mètre* en parties décimales, les calculs sont très-simples; mais il est à désirer que, dans le commerce des bois de charpente, les bois débités chez les marchands soient partout sciés sur des

(1) Les lois du 19 germinal an III, et du 19 frimaire an IX, portent que le *mètre cube*, désigné sous le nom de *stère*, sera l'unité de mesure pour les bois de chauffage, et que le *décistère*, ou *solive métrique*, sera l'unité de mesure pour le bois de charpente, ce solide ayant un décimètre d'équarrissage et 10 mètres de longueur. De cette manière la *solive métrique* diffère peu de la *solive* ancienne, et lorsque l'on toléra l'usage des mesures métriques, dites *usuelles*, on avait admis que la *solive métrique* aurait un mètre de longueur sur un pied métrique ou tiers de mètre d'équarrissage. Cependant l'usage de compter au *mètre cube* a prévalu.

(2) Un *mètre cube* vaut 29 pieds cubes 4 pouces 1 ligne $\frac{7}{12}$ de point, ou 9 pouces 8 lignes 8 points de la *toise cube*.

(3) La *solive* vaut, en *décistères*, 14,028, ou 10 *solives* valent 1 *mètre cube* 28 millimètres, ou enfin 1 *mètre cube* vaut en *solives* 9^e,725.

dimensions d'équarrissages, d'épaisseurs et de longueurs qui soient des divisions exactes et décimales du mètre vu que ces bois, débités suivant les anciennes mesures et coutumes, donnent lieu de traduire les expressions de leurs dimensions en expressions métriques, et il en résulte des nombres d'un usage quelquefois incommode.

§ 2. Cubage des bois équarris en solives.

Le calcul du volume d'une pièce de bois équarrie s'effectuait suivant les règles anciennes, dites des parties aliquotes, et pour effectuer ce calcul les charpentiers, comme les toiseurs se servaient de l'une des trois formules suivantes qui conduisent toutes à un même résultat.

1^{re} formule. — Pour trouver le nombre de solives, pieds, pouces et lignes de solive contenus dans une pièce de bois, dont les dimensions ont été données, mettez une des dimensions de l'équarrissage, exprimée en pouces, au rang des toises, et après avoir cherché, suivant les règles ordinaires du calcul, par les parties aliquotes, le cube résultant des trois dimensions, ce résultat exprime des solives, pieds, pouces et lignes de solive.

Exemple. — On demande le nombre de solives, pieds, pouces et lignes de solive exprimant le volume d'une pièce de bois de 3 toises 5 pieds 9 pouces 6 lignes de long et d'un équarrissage de 15 pouces sur 12.

	Toises.	Pieds.	Pouces.	Lignes.	Points.
Longueur.	3	5	9	6	0
I ^{re} dimension de l'équarrissage	0	1	3	0	0
	0	3	11	7	0
	0	0	11	10	9
	0	4	11	5	9
II ^e dimension, mise au rang des toises.	12	0	0	0	0
Résultat.	9	5	5	9	0

II^e formule. — Mettez une des dimensions de l'équarrissage, exprimée en pouces, au rang des pieds, et comptez pour demi-pieds le nombre de pouces de l'autre dimension de l'équarrissage; multipliez le produit de ces deux facteurs par la longueur de la pièce, le produit final donne le nombre des solives, pieds, pouces et lignes de solive.

Exemple. — On demande de calculer le nombre de solives et parties de solive d'une pièce dont les dimensions sont les mêmes que ci-dessus.

	Toises.	Pieds.	Pouces.	Lignes.
La première dimension d'équarrissage deviendra	2	3	0	0
La deuxième sera	1	0	0	0
Le produit sera multiplié par.	3	5	9	6
Ce qui donne le même résultat	9 sol.	5	5	9

III^e formule. — *Après avoir multiplié, l'une par l'autre, les deux dimensions de l'équarrissage exprimées en pouces, multipliez encore par la longueur de la pièce et divisez le produit par soixante-douze.*

Exemple. — Les dimensions d'une pièce de bois étant encore les mêmes que celles de la pièce ci-dessus, multipliant les nombres 12 et 15 qui expriment en pouces les dimensions de l'équarrissage, l'un par l'autre, et leur produit 180 pouces par 3 toises 5 pieds 9 pouces 6 lignes, le résultat 713 toises 2 pieds 6 pouces, divisé par 72, donne encore la même valeur 94 solives 5 pieds 5 pouces 9 lignes.

Ces trois règles sont fondées sur ce que, comme nous l'avons dit, la solive est la soixante-douzième partie d'une toise cube.

A l'égard du cubage du bois en chevilles, les dimensions d'une pièce étant connues, il suffisait de multiplier le nombre des pouces carrés contenus dans la surface de l'équarrissage par le nombre de pieds contenus dans sa longueur.

Exemple. — Soit une pièce de 6 pouces 5 lignes d'équarrissage sur une longueur de 11 pieds 7 pouces 3 lignes; la surface de l'équarrissage est de 57 pouces carrés et 9 lignes. Le cube est de 670 chevilles 1 pouce 8 lignes un quart, ou 2 marques 70 chevilles 1 pouce 8 lignes un quart, la marque étant de 300 chevilles, ou, enfin, 6 marques 94 chevilles 1 pouce 8 lignes un quart, la marque n'étant comptée qu'à 96 chevilles.

§ 3. Cubage des bois en grume.

Les méthodes décrites dans l'article précédent, surtout la première, assez commodes pour le calcul, n'étaient applicables qu'aux bois équarris, et ne pouvaient point servir pour les bois ronds en grume et sur pied. Il fallait donc un autre procédé pour mesurer ces derniers et évaluer le cube du

bois qu'ils devaient produire après qu'ils seraient équarris, vu que le prix de leur achat ne devait être fixé qu'en raison de la valeur de la pièce équarrie qu'il était impossible d'en tirer, et l'usage avait fait adopter les règles suivantes :

On prenait la mesure du contour du corps de l'arbre à hauteur d'homme, on retranchait de ce contour moyen

Le $\frac{1}{2}$	lorsque l'arbre avait de	2 à 3	toises de longueur,	
Le $\frac{1}{8}$	. . . . .	3 à 4.		
Le $\frac{1}{7}$	. . . . .	4 à 4 $\frac{1}{2}$	et du reste le	$\frac{1}{20}$
Le $\frac{1}{6}$	. . . . .	5 à 5 $\frac{1}{3}$	. . . . .	$\frac{1}{20}$
Le $\frac{1}{5}$	. . . . .	6 à 6 $\frac{1}{2}$	. . . . .	$\frac{1}{12}$
Le $\frac{1}{4}$	. . . . .	7 à 7 $\frac{1}{2}$	. . . . .	$\frac{1}{14}$
Le $\frac{1}{4}$	. . . . .	8 à 8 $\frac{1}{3}$	. . . . .	$\frac{1}{6}$
Le $\frac{1}{3}$	. . . . .	9 à 9 $\frac{1}{3}$	. . . . .	$\frac{1}{10}$
Le $\frac{1}{3}$	. . . . .	10 à 10 $\frac{1}{2}$	. . . . .	$\frac{1}{10}$
Le $\frac{1}{3}$	. . . . .	11 à 11 $\frac{1}{3}$	. . . . .	$\frac{1}{7}$
Le $\frac{1}{3}$	. . . . .	12	Le	$\frac{9}{5}$

du reste final, on prenait le quart, qui exprimait en pouces l'un des côtés de l'équarrissage de la pièce carrée qui pouvait être tirée de l'arbre sur pied. On ne voit pas bien sur quoi cette règle était fondée; il est présumable qu'elle avait été déduite d'un grand nombre d'expériences.

Dans quelques contrées une méthode plus rationnelle, et en même temps plus exacte, était adoptée; on estimait le volume réel de la pièce en grume, sauf à donner à la solive du bois en grume un prix moindre qu'à la solive en bois équarri.

Le volume d'une pièce de bois en grume peut être évalué par un autre procédé fort simple.

On prend avec un grand compas d'épaisseur (1) le diamètre moyen de l'arbre vers le milieu de sa longueur. La dimension trouvée est regardée comme le côté d'un carré dont on réduit la surface dans le rapport de 14 à 11, parce que le rapport du carré du diamètre d'un cercle est à la surface de ce cercle à très-peu près dans ce rapport (2), ce qui est suffisant dans la pra-

(1) Le compas d'épaisseur peut être à tête comme un compas ordinaire, ou être composé de deux règles perpendiculaires à une troisième, et glissant sur celle-ci, à l'imitation du pied ou compas de cordonnier.

(2) La réduction dans le rapport de 14 à 11 est aisée à effectuer, il suffit d'ajouter à la moitié du nombre les $\frac{2}{7}$ du même nombre, puisque $11 = \frac{14}{2} + 2 \times \frac{14}{7} = 7 + 4$. On peut aussi du nombre à réduire, retrancher le septième et la moitié de ce septième, le reste est le nombre réduit dans le rapport de 14 à 11.

lique. Cette réduction faite, on effectue le calcul du nombre des solives par l'une des méthodes que nous avons indiquées ci-dessus, et l'on a le volume du bois contenu dans la pièce en grume (1).

Exemple. — Soit un arbre en grume de 21 pouces de diamètre moyen et de 5 toises de longueur.

Le carré de ce diamètre est.	441	
dont le 1/7 est	63	}
et la moitié du 1/7	31 1/2	
	Différence.	94 1/2
En multipliant par la longueur de la pièce.		5
Le produit.		1732 1/2

divisé par 72, suivant la règle dernière, le résultat est 24 toises 0 pieds 4 pouces 6 lignes.

On peut enfin user d'une troisième méthode fondée sur le rapport 7 : 22 du diamètre à la circonférence; il faut multiplier les unités, qui expriment la longueur du diamètre de l'arbre, par 5 et demi. Le produit est la surface du cercle; en effet, 70 exprimant la longueur d'un diamètre et 220 la circonférence, 385 est la surface du cercle, mais 385 est égal au diamètre 70 multiplié par 5 et demi.

§ 4. Cubage métrique.

Le système métrique est venu simplifier les calculs du cubage des bois depuis l'adoption des mesures métriques et décimales.

Les pièces de bois sont mesurées dans leurs trois dimensions, en mètres et fractions décimales du mètre, et le volume de chacune est obtenu par le produit de ces trois facteurs, suivant la règle de la multiplication des fractions décimales; et si les volumes de plusieurs pièces doivent être réunis pour en former un total, l'opération est ramenée à celle d'une simple addition.

(1) Cette méthode peut également servir pour les mesures métriques. Le diamètre de l'arbre est mesuré en centimètres. Après la réduction, dans le rapport de 14 à 11, la surface du cercle est exprimée en centimètres carrés.

CHAPITRE LIII.

RÉSISTANCE DES BOIS.

I.

EXPÉRIENCES ET FORMULES (1).

Les pièces de charpente employées dans les constructions doivent résister suivant le sens des efforts qui agissent sur elles :

1° A l'écrasement ou *compression* dans le sens du fil du bois, par une pression exercée dans la direction de leurs longueurs;

2° A la *pression*, dans le sens perpendiculaire en fil de bois, par un effort dirigé perpendiculairement à leurs fibres;

3° A l'arrachement, par l'effet d'une traction dans le sens de la direction des fibres du bois;

4° Au *déchirement*, par un effort de traction perpendiculaire aux fibres, à la manière d'une vis en fer que l'on tirerait pour l'arracher d'une pièce de bois dans laquelle elle serait engagée.

5° A la *rupture*, par flexion, par un effort dirigé perpendiculairement à leurs longueurs;

6° A la *torsion* ou effort tendant à placer en hélice les fibres d'une pièce de bois autour de son axe longitudinal.

§ 1. Résistance à l'écrasement.

Les expériences sur l'écrasement du bois par une pression dirigée dans le sens de la longueur de ses fibres, ne sont point nombreuses : on ne connaît que celles faites par Rondelet, publiées dans son *Art de bâtir*; celles de M. Rennie, publiées dans les *Annales de chimie et de physique* (sept. 1818), et celles de M. Gauthey, mentionnées dans son ouvrage. D'après les expériences de Rondelet, il ne faut qu'un effort de 385 à 463 kilogrammes par centimètre carré (terme moyen 425 kilogrammes) de la surface sur laquelle la pression est exercée pour écraser ou refouler les fibres d'une pièce de bois de chêne, si elle est d'ailleurs trop courte pour qu'elle puisse plier.

Pour le bois de sapin, l'effort doit être 462 à 538 kilogrammes par centimètre carré (terme moyen 500 kilogrammes) de la surface sur laquelle la pression est exercée.

(1) Nous n'avons point modifié ce chapitre, qui est l'œuvre d'Émy, parce qu'il présente un intérêt considérable par les considérations pratiques qu'il contient et par la reproduction d'une table de 40 expériences faites par Buffon, sur la rupture des bois par flexion. Voir les *Éléments de charpenterie métallique* dans lesquels nous donnons, à l'introduction, des tableaux synoptiques de la résistance des bois.

D'après les expériences de M. G. Rennie, pour écraser un cube de 1 pouce anglais de côté, l'effort est en livres, avoir du poids,

pour le chêne, de. . .	3860 liv.	(271 ^k ,28 par centimèt. carré).
» le sapin blanc. . .	1928	(135,50 . . . <i>id.</i> . . .)
» le pin d'Amérique. . .	1606	(112,87 . . . <i>id.</i> . . .)
» l'orme	1284	(90,24 . . . <i>id.</i> . . .)

Ces résultats sont inférieurs à ceux de Rondelet, c'est-à-dire que les bois éprouvés par M. Rennie présentaient une moindre résistance; ils sont en même temps fort différents, sous un autre rapport, puisque, suivant Rondelet, le sapin est plus résistant à l'écrasement que le chêne, tandis que, dans les expériences de M. Rennie, c'est le contraire, la résistance du chêne l'emporte sur celle du sapin. Ces différences résultent probablement des circonstances des expériences que l'on n'a point fait connaître, et peut-être aussi des différences entre les qualités des bois qui ont crû dans des climats et dans des sols différents.

Rondelet a reconnu :

1° Que la résistance ne diminue pas sensiblement pour un prisme dont la hauteur ne dépasse pas sept à huit fois la largeur de sa base ;

2° Qu'une pièce de bois peut céder en pliant dès que sa hauteur est égale à dix fois le côté de sa base ;

3° Que dès que la hauteur est égale à seize fois le côté de sa base, une pièce de bois n'est plus susceptible d'aucune résistance (1).

Rondelet fait remarquer qu'une pièce de bois diminue de force pour résister à un effort de compression dans le sens de ses fibres, dès qu'elle commence à plier; de sorte que la force moyenne du bois de chêne, qui est de 44 livres par ligne superficielle pour un cube, est réduite à 2 livres pour une pièce dont la longueur est égale à soixante-douze fois la largeur de sa base.

Il résulte d'un grand nombre d'expériences faites à ce sujet par l'auteur de l'*Art de bâtir*, que prenant pour unité de comparaison la résistance d'un cube dont la dimension est représentée par 1, on a la progression décroissante qui suit :

Pour un cube dont la hauteur est	1	la résistance est	1	ou	$\frac{21}{21}$
Pour une pièce dont la hauteur est	12	. . . . .	$\frac{5}{6}$		$\frac{20}{24}$
	24	. . . . .	$\frac{1}{2}$		$\frac{12}{24}$
	36	. . . . .	$\frac{1}{3}$		$\frac{8}{24}$
	48	. . . . .	$\frac{1}{6}$		$\frac{4}{24}$
	60	. . . . .	$\frac{1}{12}$		$\frac{2}{24}$
	72	. . . . .	$\frac{1}{24}$		$\frac{1}{24}$

(1) Nous interprétons ainsi ces paroles d'Émy: c'est-à-dire aucune résistance à l'écrasement proprement dit, parce que la pièce se courbe comme si elle était soumise à un

d'où l'on voit qu'une pièce de bois de chêne qui porterait 424 kilogrammes par centimètre carré, si elle n'avait que 0^m,03 de hauteur, porterait à peine 17 kilogrammes et demi par centimètre carré, si elle avait 2^m,16 de hauteur.

Quoique ces expériences ne soient point complètes, elles suffisent pour tous les cas qui se présentent dans la pratique.

Dans une expérience faite, en 1822, par MM. Minard et Desormes, deux pièces de bois de chêne entées bout à bout par un joint formé par un seul *adent* et maintenu par des frettes, les fibres de l'adent ont été écrasées par un effort de 530 kilogrammes par centimètre carré, ce qui présenterait une résistance plus forte que celle résultant des expériences de Rondelet; mais il faudrait être certain que les fibres n'ont pas commencé à céder sous une résistance moindre, si elles étaient, sous cette pression, parvenues à leur maximum de refoulement, et enfin quelle action les frettes ont pu avoir à l'égard de l'effet produit.

Suivant M. Gauthey, la pression exercée contre le bois de chêne, dans le sens de la longueur de ses fibres, peut être évaluée à 500 kilogrammes par centimètre carré, et au tiers seulement pour le bois de sapin, ce qui est encore fort différent des évaluations de Rondelet; néanmoins, M. Gauthey établit que la pression ne doit pas dépasser 200 kilogrammes, lorsque la surface sur laquelle elle est exercée est perpendiculaire aux fibres du bois, pour qu'il ne se manifeste aucune empreinte de refoulement; et encore, dans cette évaluation, on suppose que le bois est bien sec, qu'il est sain et que l'eau ne séjourne pas entre les surfaces du contact où la pression est opérée, parce qu'elle les ramollit.

On doit ajouter qu'il faut supposer encore qu'aucune vibration, aucun ébranlement ou hieiment ne favorise l'action de la pression sur les fibres et sur leur refoulement.

Ces causes sont ordinairement celles des dégradations des charpentes, et notamment de celles des ponts.

On voit, par ce qui précède, qu'on est dans l'usage de regarder la résistance comme étant proportionnelle à l'aire ou surface sur laquelle la pression a lieu. M. Gauthey dit qu'il est certain que, pour le bois comme pour la pierre, *cette résistance augmente dans un plus grand rapport que l'aire*; mais on manque d'expériences pour établir la loi de cette augmentation.

§ 2. Résistance à la pression perpendiculaire à la direction des fibres.

Suivant M. Gauthey, lorsqu'un effort est exercé sur la surface d'une effort transversal, ce qui a pour effet de comprimer certaines fibres, en les raccourcissant, et de tendre d'autres fibres en les allongeant; cette circonstance modifie la nature des efforts développés dans la pièce de bois.

pièce de bois de chêne perpendiculairement à la direction de ses fibres, si l'on veut que, dans le contact, les fibres de cette surface ne cèdent pas à la pression qui leur est perpendiculaire, cette pression ne doit pas dépasser 160 kilogrammes par centimètre carré de la surface pressée, et encore est-ce dans la supposition d'un bois de bonne qualité, et que l'eau ne séjourne pas dans les joints.

D'après M. Tregold, on doit faire supporter au bois un effort bien moindre sur une face parallèle à la direction des fibres que sur une section transversale perpendiculaire à cette même direction : la pression perpendiculaire ne doit être par pouce anglais carré que de

1400 livres (avoir du poids), pour le chêne (108 par centimètre carré),
 1000 pour le sapin (78 *id.*),
 ces deux espèces de bois étant d'ailleurs, comme précédemment, de bonne qualité.

M. Tregold a trouvé, pour le bois de chêne, une résistance moindre que celle indiquée par M. Gauthey; cette différence tient encore à la différence de qualité des bois de chêne sur lesquels les épreuves ont été faites.

§ 3. *Résistance à l'arrachement ou effort de traction dans le sens de la longueur des fibres.*

D'après les expériences de Rondelet, la résistance du bois de chêne tiré dans le sens de la longueur de ses fibres est de 102 livres par ligne carrée, ou 981 kilogrammes par centimètre carré de la surface ou coupe perpendiculaire à la direction de l'effort de traction.

M. Barlow a fait des expériences sur des pièces d'un tiers de pouce anglais, environ 0^m,0085 de diamètre; les résultats de ces expériences sont rapportés dans le tableau suivant, à la force nécessaire pour opérer la rupture exprimée en livre (avoir du poids), pour 1 pouce carré anglais, et en kilogrammes pour 1 centimètre carré.

Sapin . . .	1°	12857	livres	avoir du poids.	903 ^k ,59	Moyennes. 857 kil.
	2°	11549	—	—	811,66	
Frêne . . .	1°	17207	—	—	1209,31	1200 kil.
	2°	16947	—	—	1191,04	
Hêtre . . .		11467	—	—	805,90	
Chêne . . .	1°	9198	—	—	646,44	730 kil.
	2°	11580	—	—	813,84	
Teak . . .		15090	—	—	1060,53	
Buis . . .		19841	—	—	1394,43	
Poirier . . .		9822	—	—	690,29	
Acajou . . .		8041	—	—	565,12	

Il résulte de ce qui précède que, parmi les bois mis en expériences, le frêne est celui qui présente la plus forte résistance, et le chêne et l'acajou présentent les plus faibles.

D'après les mêmes expériences, l'adhésion latérale des fibres dans le bois de sapin, ou l'effort nécessaire pour séparer une pièce de ce bois en deux parties, suivant sa longueur, en les faisant glisser parallèlement aux fibres est de. 592 livres, avoir du poids, par pouce carré anglais; ou. 41^k, 606 par centimètre carré.

D'après quelques expériences de MM. Minard et Desormes, la force d'adhésion du même genre pour le frêne dans les mêmes circonstances est de 57 kilogrammes par centimètre carré.

Il est à regretter que l'on n'ait pas l'expression de l'adhésion des fibres du bois de chêne contre les efforts dirigés de la même manière, elle serait d'une grande utilité dans le cas où des assemblages par entes et adents ont à résister à des efforts dirigés suivant la longueur des pièces de bois.

Il résulte d'une expérience faite par MM. Minard et Desormes que le bois de chêne ne perd pas la faculté de revenir à sa longueur primitive après qu'on l'a déchargé du poids qui l'a fait allonger de 1,629, sous une traction de 213 kilog. par centimètre carré, ce qui revient à un allongement de 0,0007464 pour une charge de 1 kilogramme par millimètre carré de la section transversale.

§ 4. Résistance aux efforts de traction perpendiculaires à la longueur des fibres.

Quoiqu'il soit rare que dans les constructions le bois se trouve dans le cas de résister à un effort perpendiculaire à la direction de ses fibres et tendant à les désunir, pour ne rien omettre de ce qui peut se rattacher à l'objet dont nous nous occupons, nous donnons, dans le tableau ci-après, les résultats des expériences de M. Trégold, qui expriment la force de cohésion du bois tiré perpendiculairement à ses fibres, en livres, avoir du poids par pouce carré anglais, et en kilogrammes par centimètre carré :

Pour le chêne.	2316 livres.	162,77 kilog.
Pour le peuplier.	1782 <i>id.</i>	125,24 <i>id.</i>
Pour le larix (mélèze).	970 à 1700 livres.	68 à 120 kilog.

M. Bevan a recherché par des expériences l'expression en livres (avoir du poids), de l'effort nécessaire pour *arracher* des vis à bois. Celles sur lesquelles il a fait ces expériences avaient :

2 pouces anglais de longueur, environ (5/4 millim.).	0 ^m ,0510;
0 ^m ,22 de diamètre, l'épaisseur du filet comprise, environ.	0 ^m ,0034;
0 ^m ,15 de diamètre pour le corps de vis, environ.	0 ^m ,0038;

le filet formant douze révolutions sur 1 pouce (environ 0^m,0254) de longueur.

Ces vis traversaient des planches d'un pouce d'épaisseur (environ 0^m,0254); les nombres suivants expriment en livres avoir du poids, et en kilogrammes, pour différents bois, l'effort nécessaire pour les arracher.

Frêne sec.	790 livres (avoir du poids)	358 ^k ,19
Chêne	760	344,58
Acajou.	770	349,12
Orme	655	296,98
Sycomore.	830	376,32

Dans le sapin et dans d'autres bois tendres, un effort moitié du précédent a suffi pour arracher les vis.

Suivant les expériences faites par M. le général Morin (1), administrateur du Conservatoire des arts et métiers, les poids dont peuvent être chargées, *avec sécurité*, des

vis à bois de.	0 ^m ,050 de largeur;
de.	0 ^m ,0056 de diamètre en dehors des filets;
de.	0 ^m ,0028 de diamètre du noyau,

engagées dans des planches de 0^m,027 d'épaisseur, sont

Pour le frêne sec, de.	71 kilog.
Pour le chêne sec, de.	68
Pour l'orme sec, de.	59
Pour le sapin sec, de.	35

ce qui établit qu'il ne faut faire supporter aux vis à bois que le cinquième de l'effort capable de les arracher (2).

§ 5. Résistance à la rupture par flexion.

La résistance du bois, dans les circonstances qui font l'objet des quatre articles précédents, est complètement déterminée par les résultats des expériences, puisque dans ces circonstances les efforts dirigés parallèlement ou perpendiculairement n'éprouvent aucune décomposition, et que les fibres leur sont toutes également soumises; par conséquent, l'évaluation de la surface sur laquelle ces efforts sont dirigés suffit pour en donner la mesure; mais il n'en est pas de même lorsque c'est à la rupture par flexion que ces pièces doivent résister. L'effort qui peut produire cette rup-

(1) *Aide-Mémoire de mécanique pratique*, à l'usage des officiers d'artillerie et des ingénieurs civils et militaires, in-8°. Paris, 1836, chez Anselin.

(2) Le corps d'une vis à bois en fer ou en cuivre est susceptible d'une résistance beaucoup plus considérable, mais il ne s'agit ici que de la résistance du bois dans lequel les vis sont engagées.

ture est décomposé de manière qu'il agit inégalement et même différemment sur les fibres.

La théorie de la résistance des solides a été l'objet des recherches des géomètres les plus célèbres des temps modernes, Leibnitz, Bernouilli, Euler, Parent, Lagrange, Navier n'ont pas dédaigné d'y appliquer l'analyse pour en déduire des règles d'après lesquelles on pût déterminer les formes et les dimensions des matériaux employés dans les constructions; néanmoins les théories qui sont résultées de leurs savantes recherches ne sont pas complètement applicables à la résistance des bois à la rupture. Nous avons déjà fait remarquer que lorsqu'une pièce de bois est posée horizontalement par ses deux extrémités sur des appuis fixes, elle plie lorsqu'on la charge d'un poids suffisant, et souvent même par l'effet de son propre poids, lorsque les dimensions de son équarrissage sont trop faibles par rapport à sa longueur, ses fibres se courbent suivant une ligne qui présente sa convexité en dessous.

Tant que cette courbure ne dépasse pas une certaine limite, la pièce de bois peut se redresser lorsque le poids dont on l'avait chargée cesse d'agir sur elle. Mais au-delà de cette limite, bien que la courbure puisse diminuer après que le poids a cessé d'agir, la pièce ne reprend plus sa rectitude parfaite, l'élasticité de ses fibres est diminuée et elle a perdu une partie de sa force.

La charge étant augmentée par l'addition de nouveaux poids, la courbure augmente et l'accroissement successif de cette charge finit par produire la rupture.

Les bois durs rompent souvent sans perdre préalablement une courbure sensible.

On conçoit qu'en supposant que la pièce de bois dont il s'agit soit exactement prismatique et que sa matière soit parfaitement homogène dans toute son étendue, la rupture doit avoir lieu dans le milieu de sa longueur, précisément dans la verticale, où toutes les courbures qu'elle a prises ont atteint leur maxima.

Bernouilli avait observé que dans les ruptures des corps élastiques, et par conséquent dans celle du bois, toutes les fibres ne sont point affectées de la même manière; celles de la partie supérieure de la pièce sont refoulées sur elles-mêmes: leur cohésion mutuelle ne les retenant plus suffisamment, elles se séparent et leurs parties se compriment et se replient sur elles-mêmes, tandis que celles de la partie inférieure, forcées de s'allonger inégalement selon les places qu'elles occupent dans l'épaisseur verticale de la pièce, se désunissent aussi et se rompent. Ce fait a été vérifié par toutes les personnes qui se sont occupées d'expériences sur la force du bois, et elles ont cru remarquer de plus que, si l'on sup-

pose une pièce de bois partagée en un grand nombre de couches horizontales, on voit entre les couches de la partie supérieure qui sont contractées et celles de la partie supérieure qui sont allongées, une couche dont les fibres paraissent ne subir d'autre altération que la simple courbure, sans que leur longueur en soit augmentée ou diminuée. On a donné à cette couche le nom de *couche-neutre* pour exprimer que les fibres qui la composent ne participent ni à l'allongement ni à la contraction qui affectent les fibres des autres couches.

Ces considérations font voir combien la question de la résistance du bois est compliquée, et combien de conditions devraient être introduites dans l'analyse pour arriver à des résultats qu'on pourrait regarder comme exacts et rigoureusement applicables. Les hypothèses qu'on fait dans le calcul de la résistance de diverses matières ne sont point admissibles dès qu'il s'agit du bois. Ainsi, par exemple, dans les théories qui ont été établies pour la résistance des solides, et même dans celles où l'on a introduit l'élasticité, on suppose une parfaite homogénéité de la matière dont il s'agit de déterminer les formes et les dimensions pour résister à un effort donné, de sorte qu'on ne peut pas appliquer rigoureusement les formules obtenues dans une telle hypothèse à la question de la force du bois, vu qu'aucune matière n'est moins homogène que celle d'une pièce de bois, même la plus saine, la plus droite, qui a crû avec le plus de régularité sur sa souche, qui a été équarrée avec le plus de précision et de symétrie.

Tout le monde sait qu'une pièce de bois équarrée est un prisme quadrangulaire tiré d'un arbre dont la forme conoïdale est composée de couches annuelles (tome I^r, p. 82), conoïdales aussi, qui ne sont jamais parallèles et également espacées, et par conséquent que le nombre, la force et la distribution des fibres varient avec la plus grande irrégularité d'un bout à l'autre de la pièce; et dans l'opération de l'équarrissement d'un arbre, la hache ne retranche pas le même nombre de couches et de fibres à une extrémité qu'à l'autre, nouvelle cause du défaut d'homogénéité dans une pièce de bois.

Les expériences de Buffon prouvent que, dans un arbre, le plus beau et le plus sain, la densité de son bois n'est pas la même près de la souche que près de la cime, qu'elle n'est pas la même dans le bois du cœur et dans celui de la circonférence; qu'elle n'est pas la même dans un arbre que dans un autre, et qu'elle est différente d'un côté à l'autre dans un même arbre, et qu'enfin une foule d'irrégularités et d'accidents dans la direction et le rapprochement des fibres, influent très-sensiblement sur la force d'une pièce de bois, sur la position du maximum de sa courbure et de son point de rupture.

Des nœuds qui traversent les fibres les interrompent ou les détournent

de leur direction, et diminuent la force de résistance du bois. Buffon a fait des expériences qui lui ont prouvé que la présence des nœuds dans une pièce de bois peut diminuer considérablement sa force, en comparaison de ce que cette force serait si la pièce n'avait point de nœuds (1). Des altérations dans l'état de la matière ligneuse, l'une des maladies que nous avons signalées au chapitre II, suffisent pour atténuer considérablement la force d'une pièce de bois.

Des pièces du même bois, de même dimension, diffèrent presque toutes par leur poids et leur force. Soumises aux mêmes épreuves, elles ne donnent point de résultats égaux.

Le sens suivant lequel une pièce carrée est posée sur ses appuis influe sur sa force. Buffon a reconnu, par plusieurs expériences, qu'une pièce carrée débitée hors du cœur d'un arbre de telle sorte que les couches annuelles du bois soient parallèles à deux de ses faces d'équarrissement est beaucoup plus forte lorsque ces couches se trouvent situées de champ que lorsqu'elles sont horizontales. Il est prouvé aussi qu'une pièce de bois de brin équarrie est plus forte qu'une pièce de bois équarrie, aux mêmes dimensions, prise hors du cœur d'un gros arbre. Buffon a reconnu aussi que le vieux bois, c'est-à-dire celui pris vers la souche, est plus fort que celui pris vers la cime d'un arbre.

Il suit de tous ces faits que, si l'on pouvait faire entrer dans la théorie de la résistance des pièces de bois tout ce qui peut la modifier, on obtiendrait des formules si compliquées, pour ne pas dire inextricables, qu'on manquerait de temps pour en faire des applications aux différents cas que présentent les constructions, même pour des charpentes composées d'un petit nombre de pièces, et que les formules les plus simples obtenues par suite d'hypothèses qui ne comprennent point, à beaucoup près, ce qui devrait entrer dans le calcul, ne doivent être appliquées qu'avec une grande prudence, qui commande de réduire de beaucoup les résultats obtenus; de là vient que les savants qui se sont occupés de ces questions recommandent de ne faire supporter aux pièces de bois que le *dixième* des efforts qu'elles pourraient supporter d'après les formules qu'ils ont données.

Buffon a fait des expériences pour comparer les effets du temps se combinant avec les efforts que les pièces de bois supportent. Il a vu rompre deux pièces de 0^m,189 (7 pouces) d'équarrissage et de 5^m,847

(1) Buffon a fait faire, dans des pièces de bois, des trous du même diamètre et de la même profondeur que des nœuds; il les a fait remplir avec des chevilles et a comparé la résistance des pièces égales et entièrement saines avec celle des pièces percées de nœuds réels ou artificiels; il a reconnu que les nœuds affaiblissent les pièces de bois, et qu'un nœud qui traverse la face inférieure, ou qui se trouve sur une arête peut réduire d'un quart la force d'une pièce de bois.

(18 pieds) de long, au bout de deux heures, sous la charge de 4405^k,55 (9 milliers de livres) chacune; deux autres de même dimension ont rompu sous la charge des deux tiers, c'est-à-dire de 2937^k,04 (6 milliers de livres), l'une au bout de cinq mois et vingt-cinq jours, l'autre au bout de six mois et dix-sept jours. Deux autres pièces, toutes pareilles, chargées pendant plus de deux ans de la moitié du poids, savoir : de 2202^k,78 (4500 livres), n'ont pas rompu; elles ont seulement plié assez considérablement. Buffon en conclut que dans des bâtiments qui doivent durer longtemps, il ne faut donner au bois tout au plus que la moitié de la charge qui peut les faire rompre, et que dans les constructions qui ne doivent pas durer on peut *se hasarder* de donner aux bois les deux tiers de leur charge pour rompre.

Nous pensons que tant qu'il s'agit d'une charge inerte, une pièce de bois peut porter plus que le dixième du poids qui causerait sa rupture; mais l'expérience même de Buffon montre qu'il serait imprudent de lui faire supporter une charge qui égalerait la moitié du poids qui la ferait rompre, puisque ce poids peut la faire courber considérablement, et qu'il faut que dans les constructions les bois ne prennent même pas une courbure sensible. Nous estimons que, dans le cas dont il s'agit, une pièce de bois ne doit porter que le cinquième et tout au plus le quart du poids qui le ferait rompre.

Il ne faut pas perdre de vue que dès qu'une pièce de bois commence à fléchir sous la charge, elle perd de sa force en prenant une courbure qui est d'ailleurs d'un mauvais aspect dans les bâtiments, et qui inspire une juste défiance à leurs habitants. La force de ses fibres s'atténue de plus en plus avec le temps lorsqu'ils éprouvent, si l'on peut s'exprimer ainsi, une fatigue prolongée sous les charges trop fortes qu'on voudrait leur faire supporter. Ces considérations peuvent déterminer le constructeur à ne porter qu'au dixième la charge des bois posés horizontalement.

Nous remarquerons, enfin, que si les pièces de bois doivent être chargées, même accidentellement, d'un poids susceptible d'acquérir un mouvement d'oscillation, il convient de ne faire supporter aux bois qu'une charge tout au plus d'un douzième de celle qui pourrait les rompre. C'est ce qu'on doit observer pour les planchers sur lesquels doivent se réunir un grand nombre de personnes, pour ceux sur lesquels doit avoir lieu une active fréquentation dans des magasins chargés de matières pesantes, sur lesquels on doit établir de grosses machines et de nombreux ateliers.

Pour les praticiens l'emploi de la plus belle formule, dès qu'elle est compliquée, leur convient d'autant moins qu'ils ont la conviction qu'elle ne leur donne encore que des résultats dont la prudence leur fait une loi de se défier, et qu'elle exige un travail de calcul difficile ou long, et par conséquent

un temps assez considérable dans les applications aux détails des constructions. Ils préfèrent, peut-être avec raison, la formule la plus simple, quoiqu'elle ne puisse pas être plus rigoureuse que d'autres, pourvu qu'ils aient la certitude que les erreurs qui peuvent en résulter sont plutôt à l'avantage de la solidité qu'à son détriment.

La formule la plus simple, et qui se vérifie jusqu'ici le mieux, est celle de Galilée (1), qui n'est cependant exactement vraie que dans certains cas particuliers, notamment dans celui d'une rigidité et d'une homogénéité parfaites dans toute l'étendue et entre les pièces de bois.

Cette formule, néanmoins, suffit pour la pratique, surtout en admettant qu'on se fait une loi de ne jamais faire porter à une pièce de bois plus du dixième de la charge qui la ferait rompre, d'après cette formule, comme d'après toute autre.

Elle est basée sur le principe que la résistance d'un prisme tel qu'une pièce de bois équarrée posée par ses deux bouts sur des appuis est en raison directe de son épaisseur horizontale, en raison du carré de son épaisseur verticale, et en raison inverse de sa longueur, ce qui est exprimé par l'équation

$$R = \frac{fel^2}{l} \quad (2),$$

dans laquelle R représente la résistance de la pièce de bois, ou le poids sous lequel elle se romprait, e son épaisseur horizontale, h son épaisseur verticale, l sa longueur, et f un coefficient qui dépend de la force du bois et que l'on ne peut déterminer qu'en le déduisant de l'expérience.

Il résulte cependant des expériences faites par Buffon, que la résistance des pièces de bois *n'est pas exactement en raison inverse de leur longueur, et qu'elle décroît plus rapidement à mesure que la longueur augmente, ou qu'elle augmente plus rapidement à mesure que la longueur diminue.* Mais ces variations ne sont pas tellement fortes, que l'on puisse, en faisant usage de cette formule, avoir un résultat funeste à la solidité des constructions, surtout en observant, comme nous l'avons indiqué, la réduction des charges à leur faire supporter; puisque Buffon a trouvé pour deux pièces exactement de même équarrissage, mais l'une ayant une longueur double de celle de l'autre que la résistance de la première n'était qu'un peu moindre que la moitié de la résistance de l'autre pièce.

(1) Galilée ou Galilei, célèbre physicien, astronome et philosophe, né à Pise en 1564, mort à Florence en 1642.

(2) Cette formule est d'accord avec celle de Navier, qui donne pour une pièce de section rectangulaire : $\frac{Rl}{4} = \frac{Kl}{n}$, $I = \frac{eh^3}{12}$, $n = \frac{h}{2}$, $\frac{I}{n} = \frac{eh^2}{6}$; par suite : $\frac{Rl}{4} = K \frac{eh^2}{6}$, $R = \frac{3}{2} K \frac{eh^2}{l}$, résultat de même forme que (2).

C'est probablement ce résultat qui avait déterminé Rondelet à conseiller de réduire la résistance donnée par la formule de Galilée, du tiers du carré de l'épaisseur verticale, de sorte que la formule deviendrait $R = \frac{feh^2}{l} - \frac{h^2}{3}$.

Mais, attendu qu'on ne connaît pas comment cette quantité $\frac{h^2}{3}$ qui n'est fonction que d'une seule des dimensions de la pièce, peut être introduite dans le calcul, de manière à demeurer constante sans être combinée avec aucune des deux autres dimensions, alors que la longueur de la pièce peut varier, nous pensons que l'on doit s'en tenir à la formule très-simple $R = \frac{feh^2}{l}$, quoique, comme nous l'avons déjà dit, elle ne soit vraie que pour quelques cas particuliers.

Il est probable que Rondelet a été conduit à la formule qu'il a donnée par le mode d'appréciation de la force absolue des bois qu'il a déduite de la résistance des fibres à la rupture par un effort de traction, résistance qui n'est pas la même pour toutes les fibres, dès qu'il s'agit de leur rupture par un effort perpendiculaire à leur direction.

Rondelet a supposé que la force de résistance du bois de chêne à la rupture *par flexion*, sous un effort perpendiculaire à la longueur de la pièce, est en livres $f = 59,59$, ou à peu près 60 livres par ligne carrée de la surface d'équarrissage, dans le cas qu'il a choisi, d'une pièce de 5 pouces d'équarrissage, pour exemple de l'application de sa formule. Ce nombre, trop fort, motive une réduction dans l'évaluation de la charge qui doit faire rompre la pièce; mais, comme nous avons fait remarquer que la réduction ne peut être constamment du tiers de la deuxième puissance de l'épaisseur verticale, nous pensons qu'on peut adopter généralement que dans la formule $R = \frac{feh^2}{l}$ pour le bois de chêne, f est égal à 45 livres, toutes les dimensions de la pièce étant exprimées en lignes; ou, $f = 4^k,33$ par millimètre carré du même équarrissage, toutes les dimensions de la pièce étant dans le calcul exprimées en millimètres (1).

On a dressé des tables de la résistance des pièces de bois de chêne, pour différentes longueurs et différents équarrissages : ces tables sont d'une grande étendue, à cause de la grande quantité de pièces de diverses dimensions qui sont employées dans les constructions, et qu'on y

(1) Pour convertir le coefficient f en livres répondant aux dimensions exprimées en lignes, en un coefficient en kilogrammes pour les dimensions exprimées en millimètres, il faut multiplier le coefficient en livres par 0,098194. Ainsi, f égalant 45 livres pour le calcul par lignes, a pour équivalent $4^k,328730$ pour le calcul par millimètres, que l'on peut porter à $4^k,33$.

a comprises; elles ne peuvent trouver place ici par cette raison. D'ailleurs, elles ne sont point calculées suivant la formule que nous conseillons d'adopter, et cette formule $R = \frac{fel^2}{l}$ est si simple, qu'il ne faut pas plus de temps pour calculer par son moyen la valeur de R , que pour la chercher dans des tables, qui sont souvent dans un tel désaccord avec les résultats des expériences, que l'on doit se défier autant de leur emploi que d'une confiance trop aveugle dans les formules.

Nous donnons ci-après un tableau qui présente les résultats des expériences faites par Buffon, sur des pièces de bois de chêne carrées expérimentées à la flexion et chargées au milieu de leur longueur.

Nous y avons ajouté deux colonnes; nous avons inscrit, pour chaque expérience, la valeur du coefficient f , qui convient à son résultat, et dans la précédente, nous avons indiqué, pour chaque expérience de la pièce éprouvée, le rapport de sa longueur l à sa hauteur verticale h , afin qu'on puisse, dans les applications qu'on fera de la formule et des résultats des expériences, choisir, pour le coefficient f , un nombre moyen de ceux qui répondent aux pièces éprouvées, dont les épaisseurs verticales et les longueurs sont à peu près dans le même rapport que les dimensions homologues de la pièce pour laquelle on veut déterminer la résistance approximative (1).

On verra, par cette table, que les poids des pièces, leur résistance et même leur flèche de courbure, ne sont point, pour un grand nombre de cas, exactement dans les rapports de leur longueur pour un même équarrissage, et que la valeur de f , qui devrait être constante et représenter la force réelle du bois, indépendamment de ses proportions, est variable, suivant même une loi qui n'est pas exactement régulière. Ce qui tient, comme nous l'avons déjà fait remarquer, au défaut d'homogénéité des bois pour chaque pièce, et même dans les pièces comparées les unes aux autres.

A la suite de cette table, nous en donnons une seconde, qui a pour objet de représenter les rapports des résistances de différentes espèces de bois de charpente comparées entre elles, de manière qu'ayant calculé la résistance d'une pièce de bois, dans l'hypothèse où elle serait en chêne,

(1) Aux deux colonnes ajoutées par Émy, nous avons joint les deux dernières colonnes, l'une donne la valeur du coefficient f rapporté au millimètre carré; quant à la dernière, elle exprime une nouvelle notion : elle donne la charge pratique rapportée au centimètre carré de la section transversale, en admettant que le bois travaille à un taux qui est le dixième de la charge de rupture. Cette charge *pratique moyenne* varie avec le rapport $\frac{l}{h}$.

Pour une solive chargée uniformément, on doublera les résultats de la dernière colonne.

on puisse connaître quelle doit être sa résistance, si elle est d'une autre essence de bois (1).

TABLEAU des résultats moyens des expériences de flexion faites jusqu'à la rupture, sur des pièces de bois de chêne, par M. de Buffon.

CÔTÉ de la section carrée.	LONGUEURS des pièces.	POIDS des pièces.	Charges au milieu de la portée.	FLÉCHES des courbures au moment de la rupture.	RAPPORTS de l à h, h étant = 1.	VALEURS du coefficient f par		CHARGE PRATIQUE = le 1/10 de celle de rupture, par cent. q. de la section transversale
						ligne carrée.	millim. carré.	
	pouces. pieds.	livres.	livres.	pouces. lignes.	l=21	livres.	kil.	kil.
4 pouces (0m,130)	8	58	5312	4 »	21	f=48,6166	4,62	2,02
	8	66	4550	4 »	21	47,3958	4,55	1,99
	9	74	4025	5 »	26	47,1662	4,52	1,74
	10	83	3612	6 »	30	47,0181	4,51	1,50
	12	99	2987	7 »	36	46,6748	4,49	1,25
5 pouces (0m,1625)	7	92	11525	2 6	16	53,7833	5,16	3,225
	8	101	9787	2 9	19	52,1973	5,01	2,63
	9	116	8308	3 3	21	49,8480	4,78	2,27
	10	130	7125	3 10	24	47,5000	4,56	1,90
	12	155	6075	5 8	29	48,6000	4,66	1,60
	14	177	5300	8 1	34	49,1666	4,75	1,39
	16	207	4350	8 1	38	46,3000	4,45	1,17
	18	242	3700	8 1	43	44,6000	4,27	0,99
	20	261	3225	9 5	48	43,0000	4,13	0,86
6 pouces (0m,195)	7	127	18950	» »	14	51,1767	4,90	3,50
	8	148	15525	2 5	16	47,9166	4,60	2,87
	9	165	13150	2 8	18	45,6597	4,38	2,43
	10	187	11250	3 3	20	43,4027	4,16	2,08
	12	223	9100	4 1	24	42,1296	4,04	1,68
	14	255	7474	4 4	28	40,3742	3,87	1,38
	16	293	6362	5 8	32	39,2716	3,77	1,17
7 pouces (0m,2275)	18	333	5562	7 11	36	38,6250	3,70	1,02
	20	376	4950	9 2	40	38,1328	3,66	0,91
	8	203	26050	2 8	14	50,6316	4,86	3,47
	9	246	22350	2 »	15	48,8703	4,69	3,12
	10	253	19475	2 10	17	47,3154	4,54	2,67
	12	302	16175	3 2	20	47,1574	4,52	2,26
8 pouces (0m,260)	14	354	13225	3 11	24	44,9830	4,32	1,80
	16	405	11000	5 »	27	42,7599	4,10	1,51
	18	452	9245	5 8	31	40,4300	3,88	1,25
	20	503	4950	8 2	34	40,6948	3,90	1,14
	10	331	27750	2 8	15	45,1660	4,33	2,88
12	396	23450	3 »	18	45,8008	4,39	2,43	
14	460	19775	3 6	21	45,0602	4,32	2,05	
16	526	16375	4 6	24	42,6432	4,09	1,70	
18	594	13200	4 3	27	38,6719	3,71	1,37	
20	662	11987	6 3	30	39,0201	3,74	1,24	

Cette charge pratique doit être doublée, si la pièce est chargée uniformément.

(1) Ces expériences de Buffon présentent une loi bien continue pour chaque équarrissage. Il serait à désirer que des expériences se fissent d'une manière aussi méthodique sur d'autres essences de bois de construction et surtout pour des rapports inférieurs au nombre 14 de cette table. On pourrait alors relier tous ces résultats par une formule empirique, qui rendrait de véritables services aux praticiens. De la formule de Galilée on déduit : $R = \frac{fel^2}{l} f = \frac{Rl}{eh^2}$ qui est le coefficient de la table ci-dessus; mais

on déduit aussi : $\frac{R}{eh} = f \frac{h}{l}$; or $\frac{R}{eh}$ peut être considéré comme la charge rapportée à l'unité de section transversale. Nous avons calculé cette quantité par centimètre carré et nous en avons pris le 1/10, afin d'obtenir un résultat pratique qui est inséré dans la dernière colonne du tableau.

Les chiffres de la dernière colonne montrent que la flexion rapportée au centimètre carré de section

TABLEAU de comparaison des résistances des différentes espèces de bois.

DÉSIGNATION des BOIS.	RÉSISTANCES PROPORTIONNELLES		
	à L'ÉCRASEMENT.	à L'ARRACHEMENT.	à LA RUPTURE per Section.
1. Chêne	807	1881	1000
2. Orme	1075	1980	1077
3. Frêne	1112	1800	1072
4. Sapin	850	1250	918
5. Tilleul	717	1406	750
6. Tremble.	717	1293	624
7. Peuplier.	680	940	586

§ 6. Résistance à la torsion.

On manque d'expérience sur la torsion des bois. Au surplus, à l'exception de quelques cas, très-rares dans la charpenterie ordinaire, ce n'est que dans la charpenterie des machines que la torsion est à considérer pour déterminer les diamètres des arbres des roues, des moulins et des treuils.

On a traité cette question par l'analyse dans des hypothèses qui ne paraissent pas être, sous le rapport du déplacement des molécules, celles qui conviennent à l'état fibreux du bois.

Tout ce qu'on sait pour les corps homogènes, par quelques expériences, d'ailleurs insuffisantes, c'est que l'angle de la torsion est proportionnel à la torsion; que, quelle que soit la longueur de la pièce tordue, sa résistance à la rupture, par la torsion, est la même, et que plus le corps est long, plus l'angle dont il est tordu au moment de la rupture est grand.

D'après l'*Aide-Mémoire des officiers d'artillerie*, P étant la force qui produit la rupture D , le bras du levier avec lequel elle agit, b le plus grand côté de l'équarrissage de la pièce tordue, c le plus petit côté, ou r le rayon de sa section, si elle est cylindrique, et T la résistance à la torsion pour l'unité de surface à l'instant de la rupture, on a

$$\text{pour un prisme rectangulaire } PD = T \frac{b^2 c^2}{3\sqrt{b^2 \times c^2}}$$

$$\text{pour un cylindre. } PD = T \frac{\pi r^3}{2}.$$

transversale varie peu lorsque le rapport de la longueur l à la hauteur verticale h de la solive est le même. Ces expériences tendent à conclure que la charge diminue à mesure que les équarrissages augmentent. D'après les formules générales de Navier sur la flexion des solives, suivies encore aujourd'hui, cette charge serait constante. Il serait nécessaire que des expériences fussent faites sur divers équarrissages et sur diverses essences de bois et dans des limites étendues du rapport ($l : h$), pour confirmer cette loi très-simple.

Il reste à vérifier ces formules par des expériences en grand, et qui puissent donner d'une manière certaine la valeur de T .

II.

APPLICATIONS AUX PIÈCES DE BOIS CONSIDÉRÉES ISOLÉMENT.

Nous avons, dans le commencement de cet ouvrage, représenté les pièces de bois par des lignes droites lorsqu'il s'agissait de déterminer leurs positions dans la composition des charpentes, ou pour marquer leurs établisements dans les épures et les ételons. On les figure de la même manière lorsqu'il s'agit de leur appliquer le calcul pour déterminer leurs dimensions d'équarrissage, ou leurs portées pour résister à des efforts donnés, ou pour déterminer la résistance dont elles sont, en tout ou en partie, capables lorsque leurs dimensions sont fixées.

Lorsque, de ces quatre choses, les trois dimensions d'une pièce de bois et la résistance dont elle est capable, trois sont données, il est toujours facile, d'après la formule que nous avons indiquée, de déterminer la quatrième.

Les charges que l'on veut faire supporter par des pièces de bois doivent être assez faibles pour que les courbures que les pièces de bois doivent prendre soient aussi très-faibles, imperceptibles même, afin de ne point altérer la régularité des constructions. Ces courbures sont à peine sensibles lorsqu'on ne fait supporter aux pièces que le dixième tout au plus de la charge sous laquelle elles rompraient.

On peut donc, sans craindre d'introduire dans le calcul des erreurs préjudiciables à la solidité des constructions, négliger ces petites courbures et regarder les pièces de bois comme exactement droites et roides, avec d'autant plus de raison que ces pièces sont fort courtes, les parties de leur longueur auxquelles les calculs doivent être appliqués, étant limitées par leur rencontre avec les autres pièces auxquelles elles sont combinées.

Les calculs rentrent alors dans la classe de ceux de la statique la plus simple, ce qui les met à la portée de tous les praticiens, et suffit pour tous les besoins de l'art.

§ 1. *Résistance d'une pièce de bois horizontale chargée dans le milieu de sa longueur.*

La résistance d'une pièce de bois a b , fig. 16, pl. CLVII, chargée dans son milieu d'un poids P est représentée par l'expression $R = \frac{feh^2}{l}$. Pour

compléter le 5^e article du paragraphe précédent, nous donnons ici un exemple d'une application numérique de cette formule.

Supposons qu'il s'agit de déterminer la résistance d'une pièce de bois horizontale posée par ses deux extrémités sur les points d'appui qui doivent la supporter, et que les dimensions de cette pièce sont :

Longueur, 18 pieds 5 pouces 7 lignes, réduits en lignes	2659;
Épaisseur verticale, 10 pouces.	» 120;
Épaisseur horizontale, 5 pouces 11 lignes.	» 71;

Le coefficient f est tiré des expériences de Buffon, nous le supposons de 45 livres, nombre qui répond à la valeur moyenne des pièces dont la largeur verticale est le vingt-deuxième de sa longueur, alors la formule devient

$$R = \frac{45 \times 71 \times 120^3}{2659} = 17302 \text{ livres.}$$

Si les dimensions de la même pièce sont données en mesures métriques, elles sont écrites en millimètres.

Longueur = 6000; épaisseur verticale = 271; épaisseur horiz. = 160.

Le coefficient f est, dans ce cas, = à 4^k,33, la formule devient :

$$R = \frac{4,33 \times 160 \times 271^3}{6000} = 8470 \text{ kilogrammes, équivalent de 17302 livres}$$

trouvées ci-dessus. La pièce peut être chargée de 1730 livres, ou de 847 kilogrammes. Ce résultat devrait être doublé si la pièce est chargée uniformément.

§ 2. *Résistance d'une pièce de bois fixée horizontalement par un de ses bouts et chargée sur l'autre bout.*

Si l'on considère la pièce dont il vient d'être question dans l'article précédent, dans une position inverse, et qu'au lieu de porter un poids, elle soit soumise à un effort agissant sur le milieu de sa longueur de bas en haut, cette pièce étant d'ailleurs retenue par les points fixes a , b , contre lesquels sa face supérieure ost arrêtée, la résistance de cette pièce sera la même, c'est-à-dire que si elle est capable de porter, dans son milieu, un poids P agissant dans la direction de haut en bas, elle résistera de même à un effort égal à P agissant dans la direction de bas en haut.

Si cette même pièce est en équilibre par son milieu sur un appui fixe, elle sera horizontale, et sa résistance sera la même, étant chargée à chacun de ses bouts d'un poids $\frac{P}{2}$.

Si la moitié de la longueur de cette pièce est fixée ou scellée dans un mur à partir d'un point, sa moitié libre supportera encore un poids $\frac{P}{2}$.

D'où il suit qu'une pièce de bois horizontale fixée par un de ses bouts peut supporter par son autre bout un poids égal à la moitié de celui auquel résisterait une pièce d'une longueur double librement posée sur deux appuis. Il en est de même d'un poteau vertical qui doit résister à un effort horizontal, appliqué à son sommet.

Ces propositions sont si évidentes qu'il n'est pas nécessaire d'en donner de démonstration. Nous remarquerons seulement que, dans plusieurs circonstances, on considère une pièce de bois dans la moitié de sa longueur résistant à une charge posée à son extrémité, tandis que l'autre extrémité est fixe; il faut doubler le résultat pour sa résistance au point fixe, comme si elle était entière et posée librement sur deux appuis.

§ 3. Résistance d'une pièce de bois horizontale scellée par ses deux extrémités dans des murs.

On a observé que lorsqu'une pièce de bois horizontale est retenue à ses deux extrémités par des scellements dans les murs qui la supportent, elle acquiert, par cette circonstance, un accroissement de force qui est évalué au tiers de celle qu'elle aurait si elle était posée librement par ses deux bouts sur des appuis. Ainsi, la pièce dont nous avons trouvé, dans l'article précédent, la résistance égale à 8470 kilog.
 par le fait des scellements de ses extrémités, acquiert
 un accroissement de résistance de 2823
 et sa résistance totale est de 11293

On pourra la charger de 1129 kilogrammes, en faisant travailler le bois au 1/10.

Cet accroissement de résistance tient à ce que, si la pièce fléchit, sa longueur ou portée entre les deux murs se trouve divisée par deux points d'inflexion m, n , fig. 17, pl. CLVII, entre son milieu et ses scellements à une distance de chaque mur à peu près égale au huitième de la portée totale, et elle prend alors la forme $A m O n B$ (1).

Malgré cette propriété des scellements, nous pensons qu'on doit s'abstenir d'en profiter, par la raison qu'il en résulte que les vibrations des

(1) Si l représente la portée de la pièce entre les murs, $\frac{3l}{4}$ représente la distance des deux points d'inflexion regardés comme des points d'appuis accidentels. La résistance pour la pièce libre étant $R = \frac{feh^2}{l}$, celle de la partie comprise entre les deux points d'inflexion m, n sera $R' = \frac{4feh^2}{3l}$ ou $\frac{feh^2}{l} + \frac{feh^2}{3l} = R + \frac{1}{3} R$.

planchers se communiquent aux murs où sont faits les scellements et les ébranlent.

Lorsqu'une pièce de bois est extrêmement longue et qu'elle est supportée librement sur des appuis dont les écartements sont égaux entre eux, chaque partie de la pièce répondant à l'intervalle de deux appuis peut porter le double de ce qu'elle porterait si sa longueur était seulement égale à cet intervalle, parce qu'alors les points d'inflexion sont situés à des distances égales des points d'appui et du milieu de la pièce (1).

§ 4. *Résistance d'une pièce de bois chargée dans un point quelconque de sa longueur.*

Soit une pièce horizontale AB , fig. 17, pl. CLVII, librement posée sur les appuis A et B , chargée au point R du poids qu'elle peut supporter et qu'il s'agit de déterminer, les dimensions de l'équarrissage de la pièce étant données, ainsi que la longueur de cette pièce. Soit la partie de cette longueur de A en R , représentée par $AR = a$, l'autre partie, par $BR = b$, de sorte que $AB = a + b$. Si la pièce, au lieu d'avoir la longueur AB , n'avait pour longueur que le double de AR , c'est-à-dire, $AA' = 2a$, le poids qu'elle supporterait dans son milieu R étant représenté par p et p' représentant le poids, qui serait de même supporté en R si la pièce avait pour longueur le double de BR , c'est-à-dire $BB' = 2b$, le moment du poids p serait $\frac{p}{a}$, et celui de p' serait $\frac{p'}{b}$, la demi-somme de ces moments est la valeur du poids que la pièce peut supporter au point R . Ainsi, en nommant P le poids cherché on a $P = \frac{ap + bp'}{2(a + b)}$.

§ 5. *Résistance d'une pièce de bois chargée sur plusieurs points de sa longueur.*

Soit entre les points d'appui A et B , fig. 19, pl. CLVII, une pièce de bois horizontale, dont la longueur $AB = l$, qu'on la charge en D à la distance $AD = a$ d'un poids P , et vers l'autre extrémité à la distance $BE = b$ d'un autre poids P' , si l'action de ces deux poids est capable de faire rompre la pièce, le point de rupture C répondra à une résultante.

(1) On a dans ce cas, pour la résistance de chaque partie de la pièce comprise entre chaque point d'inflexion $R = \frac{2fel^2}{l} = 2R$.

Soit donc $AC = x$, la position du point C est déterminée par cette équation $\frac{aP}{x} = \frac{bQ}{l-x}$, d'où l'on tire $AC = x = \frac{aP + bQ}{aPl}$.

Dans la supposition que $x = \frac{d}{2}$, on a $aP = bQ$, et si $a = b$ on a aussi $P = Q$, en nommant T le poids qui, placé au milieu de la pièce, serait capable de la rompre, on voit que $Q + P$ est constamment plus grand que T , et que, par conséquent, on ne parviendrait pas à rompre une pièce de bois en répartissant d'une manière quelconque, sur deux points de sa longueur, la charge qui produirait sa rupture, si cette charge était tout entière au milieu.

Ce raisonnement est applicable à un nombre quelconque de poids, égaux ou inégaux, disposés arbitrairement le long d'une poutre. On peut toujours partager le poids en deux groupes de part et d'autre du milieu de la longueur de la pièce, et prendre la somme de leurs moments par rapport au point de rupture, l'une de ces sommes remplacera aP , l'autre remplacera bQ dans l'équation ci-dessus $\frac{aP}{x} = \frac{bQ}{l-x}$.

§ 6. Résistance d'une pièce de bois dont la charge est distribuée uniformément sur sa longueur.

On a observé qu'une pièce de bois est capable de supporter une charge beaucoup plus considérable dès que, au lieu de poser cette charge sur le milieu, on la répartit sur toute la longueur de la pièce.

On trouve, par l'analyse, que si la charge est uniformément répartie, la poutre peut supporter le double du poids qu'elle supporterait si ce poids était placé sur le milieu de sa longueur (1).

(1) Voici une démonstration géométrique : soit une poutre $ABDE$, projetée horizontalement, fig. 21, pl. CLVII, et posée de niveau sur des appuis $AEBD$. Considérant une moitié de la longueur de cette pièce, soit P , le poids supporté par cette moitié au point qui répond au milieu MN . Ce poids peut être représenté par un rectangle qui a pour largeur horizontale celle $MN = e$ de la pièce, et une hauteur verticale $= h$, la valeur du rectangle est $eh = P$. Nommant l la longueur AM de la moitié de la pièce, $e h l$ est le moment du poids P . Cette quantité représente un prisme qui a pour base le rectangle $EAMN = el$, et pour hauteur h . Soit Q le poids qui est réparti uniformément sur la demi-longueur de la poutre, ce poids peut être représenté par un autre rectangle qui a également la largeur e de la pièce pour base, et pour hauteur une autre verticale h' : ainsi, $Q = eh'$. Les poids P et Q sont entre eux comme les rectangles eh' , eh , ou comme leurs hauteurs h' et h . Soit q un très-petit poids partiel du poids Q ; ce petit poids q peut être représenté aussi par un rectangle dont la base e' est contenue dans la base e des autres rectangles, autant de fois qu'un petit poids partiel q peut être contenu dans le poids Q , et la hauteur de ce petit rectangle sera aussi h' . Le produit $e' h' l$ du

§ 7. Résistance d'une pièce de bois cylindrique à la flexion.

Soit $A B D E$, fig. 29, la coupe circulaire d'un corps d'arbre que l'on peut regarder comme cylindrique, sans inconvénient pour la question dont il s'agit, ou même le rendre cylindrique, si la régularité du travail l'exige. On suppose que la pièce cylindrique est portée horizontalement par ses deux extrémités sur des appuis. Soit d le diamètre du cercle $A B D E$, supposons que l'arbre est partagé, suivant sa longueur, en une infinité de tranches ou planches minces, parallèles, comme celle dont le bout se présente en $X Y$. Pour chaque planche, la résistance sera encore $R = \frac{f e h^3}{l}$, la somme de toutes ces résistances est celle de l'arbre cylindrique.

L'analyse donne pour cette somme des résistances totales $D = \frac{2fd^3}{3l}$ (1), c'est-à-dire que la résistance de la pièce cylindrique est les deux tiers de

rectangle $e'h$ par la distance $L O = l$, est le moment d'un petit poids partiel q répondant à la ligne $M'N'$. Ce moment est donc représenté par un parallépipède qui a pour base le rectangle formé sur $L O$ avec la hauteur h' , c'est-à-dire $h' l$, et pour épaisseur e' . La réunion de tous les parallépipèdes de cette espèce, représentant les moments des poids partiels q , forme un prisme triangulaire qui a pour base le triangle $E A M$, et pour hauteur h' , qui est la somme des moments des poids q . Pour que cette somme des moments des poids partiels soit égale au moment du poids P , il faut que le prisme triangulaire qui a pour base le triangle $E A M$, et pour hauteur h' , soit égal au prisme quadrangulaire, qui a pour base le rectangle $E A M N$, et pour hauteur h . Le triangle $E A M$ est moitié du rectangle $E A M N$. Il faut, pour que l'égalité ait lieu, que h' soit le double de h . Ce qui fait voir que Q doit être double de P , et que, par conséquent le poids réparti sur la longueur d'une poutre peut être double de celui posé sur son milieu.

(1) Voici une démonstration géométrique. La résistance de chaque planche infiniment mince, est $R = \frac{f e h^3}{l}$, e étant son épaisseur infiniment mince et h sa largeur. La quantité $\frac{f}{l}$ étant la même pour toutes les planches $e h^2$ est le facteur qui représente la force de chaque planche. C'est, pour chacune, un prisme dont la base est le carré du côté variable h , largeur de la planche; l'épaisseur de ces prismes est e constante, donc la somme de leurs épaisseurs est égale à d diamètre du cercle $A B D E$. La somme de tous ces prismes appliqués à plat les uns contre les autres, comme les planches, forme un solide compris entre deux surfaces cylindriques dont les axes se coupent à angles droits, et qui ont leurs bases égales au cercle $A B D E$. Ce solide est composé de quatre onglets cylindriques; il est projeté en $E F I H$, fig. 30, sa coupe suivant m, m , ou n, n , est le cercle $A B D E$. La surface courbe de chaque onglet est égale à quatre fois celle de sa projection $E G F$ (*), et sa solidité est égale à sa surface multipliée par le tiers du rayon (**). Le

(*) Géométrie de Mauduit, liv. III, ch. IV.

(**) Ce solide est considéré comme composé de pyramides dont les bases sont à sa surface, et les sommets à son centre.

la résistance $R = \frac{fd^3}{l}$ de la pièce carrée qui aurait le diamètre d pour côté de son équarrissage, et qui, conséquemment, serait circonscrite à la pièce cylindrique.

Si l'on cherche la résistance de la pièce carrée inscrite au cylindre dont le diamètre est d , le côté de son équarrissage est $\frac{d}{\sqrt{2}}$; on trouve $r = \frac{fd^3}{2h\sqrt{2}}$, de sorte que l'on a pour la résistance des trois pièces :

$$R = \frac{fd^3}{l} \text{ pour la pièce carrée circonscrite au cylindre.}$$

$$D = \frac{2fd^3}{3l} \text{ pour la pièce cylindrique.}$$

$$r = \frac{fd^3}{2h\sqrt{2}} \text{ pour la pièce carrée inscrite au cylindre.}$$

Les résistances R, D, r de ces trois pièces sont dans les rapports $1, \frac{2}{3}, \frac{1}{2\sqrt{2}}$.

D'après la théorie de Navier, la résistance d'une pièce cylindrique serait seulement les 0,589 de celle de la pièce carrée circonscrite, en nombre rond 0,6.

§ 8. Pièce de la plus grande résistance.

Nous avons fait voir, dans le 5^e article du chapitre III, que la pièce équarrie la plus volumineuse que l'on puisse tirer d'un corps d'arbre supposé cylindrique, a pour figure de son équarrissage le carré inscrit dans le cercle qui est la coupe de l'arbre, le diamètre de ce cercle étant d , le côté du carré inscrit est $\frac{d}{\sqrt{2}}$.

Mais lorsqu'au lieu du maximum de volume, il s'agit du maximum de résistance, c'est-à-dire qu'il s'agit de tirer d'un arbre la solive horizontale dont la résistance sera plus grande que celle d'aucune autre qu'on pourrait en tirer, ce n'est plus un carré qui doit être la figure de l'équarrissage, c'est un rectangle, également inscrit dans le cercle qui est la coupe de l'arbre; la plus grande dimension de ce rectangle doit être verticale, ou, autrement dit, la pièce doit être posée de champ (1).

solide est donc égal à $\frac{2d^3}{3}$, par conséquent, à la place de la somme des $e h^2$ on peut écrire $\frac{2d^3}{3}$, et la résistance du cylindre devient $D = \frac{2fd^3}{3}$.

(1) L'expérience comme le raisonnement prouve que, lorsqu'une pièce de bois n'est pas équarrie suivant un carré, c'est en la posant de champ qu'on en obtient la plus grande résistance. e et h étant les dimensions de l'équarrissage, $e < h$, si la pièce est posée à plat, e est vertical, la résistance est $R = \frac{fe^2h}{l}$. Si la pièce est posée de champ,

M. Parent a, le premier, déterminé le rapport du côté de l'équarrissage d'une pièce de bois, pour qu'elle soit la plus forte que l'on puisse tirer d'un corps d'arbre (1).

La formule $R = \frac{fel^2}{l}$, représentant la résistance d'une pièce de bois, il est évident que les quantités f et l n'étant point variables, il faut, pour que $\frac{fel^2}{l}$ soit un maximum, que $e h^2$ en soit un, e et h étant les côtés de l'équarrissage inscrit dans le cercle.

L'analyse donne, pour rapport des côtés de ce rectangle, $1 : \sqrt{2}$, le diamètre du cercle étant $\sqrt{3}$, et sa forme s'obtient graphiquement par une construction fort simple.

Soit $ABCD$, fig. 26, pl. CLVII, le cercle qui est la coupe du cylindre, on divise le diamètre AC en trois parties égales; par les points de division P et Q , on trace les cordes BE , DF , le rectangle $ABCD$ est celui pour lequel $e h^2$ ou $AB \times \overline{BC}^2$ est un maximum. On voit que par construction $AB : BC : AC :: 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$ (2).

Il est à regretter que, dans les exploitations des forêts, et dans les ateliers, au lieu d'équarrir les arbres sur quatre faces égales, pour en tirer le plus grand volume de bois, on ne donne pas à leurs faces d'équarrissage des largeurs dans le rapport que nous venons d'indiquer, de 1 à $\sqrt{2}$, notamment pour les pièces destinées à être employées comme poutres; il n'en résulterait pas une grande perte pour l'exploitant, dans l'équarrissage à la hache. Le volume de la pièce équarrie carrément étant représenté par 1 , celui de la pièce équarrie suivant le rectangle qui donne la plus grande résistance, est représenté par $0,942809$, de sorte que la perte ne serait que de $0,057191$, c'est-à-dire d'un $1/18$ de la pièce (3). On serait, d'ailleurs, dédommagé par un accroissement de résis-

la résistance est $R = \frac{fel^2}{l}$. Les résistances sont dans le rapport de $e^2 h : e h^2$ ou dans le rapport égal $e : h$; donc la pièce posée de champ est la plus forte.

(1) Mémoire lu à l'Académie des Sciences, en 1704.

(2) $AB = 1$, $BC = \sqrt{2}$, $AC = \sqrt{3}$, le produit $AB \times \overline{BC}^2 = 2$, si l'on suppose que le côté AB du rectangle $ABCD$ est augmenté d'une quantité très-petite $\frac{1}{a}$, le dénominateur a étant un nombre très-grand. Ce rectangle devient $A b C d$, son côté $Ab = 1 + \frac{1}{a}$. En faisant le calcul, on trouve que le produit $Ab \times \overline{bC}^2$ est plus petit que 2 . Si l'on suppose ensuite que le côté AB est diminué de $\frac{1}{a}$ le rectangle devient $Ab' Cd'$, son côté $Ab' = 1 - \frac{1}{a}$, et le calcul donne $Ab' \times \overline{b'C}^2$ plus petit que 2 . D'où il suit que le rectangle $ABCD$, dont les côtés sont dans le rapport de 1 à $\sqrt{2}$, donne pour $AB \times \overline{BC}^2$ le maximum.

(3) Dans l'équarrissage à la scie la perte en est encore plus faible.

tance. La force de la pièce carrée inscrite étant encore représentée par 1, celle de la pièce équarrie suivant le rectangle est 1,0886, l'accroissement de résistance serait presque d'un onzième.

Si l'on compare la résistance d'une pièce de bois équarrie carrément, lorsqu'elle est posée de niveau et de dévers, avec sa résistance lorsque la diagonale de son équarrissage est verticale, on trouve, en représentant la résistance dans le premier cas par $R = 1$, que, dans le deuxième, elle est exprimée par $R = \frac{2\sqrt{2}}{3} = 0,943$ (1) de sorte que la pièce perd dans cette position près du dix-huitième de sa résistance.

§ 9. Résistance d'une pièce de bois inclinée.

Soit une pièce de bois AB , fig. 18, pl. CLVII, inclinée à l'horizon sous un angle ABD , soit un poids P dont cette pièce est chargée dans son milieu.

Par l'effet de la résistance du point B , la pièce ne peut point glisser ni changer de position; l'action du poids P , suivant la verticale rP , est décomposée en deux forces, suivant la direction rm , rn ; celle Q , qui agit suivant cette dernière, et qui est la seule qui exerce la pression sur la pièce AB , a pour expression $Q = P \cos b$; b représentant l'angle ABD .

En représentant par O la force qui agit suivant rm dans la direction de la pièce, cette force est exprimée par $O = P \sin b$.

La résistance T qu'il faut opposer au glissement de la pièce, dans le sens horizontal, suivant BG , est exprimée par $T = O \cos b = P \sin b \cos b$.

§ 10. Résistance des pièces courbes.

Les pièces courbes que l'on emploie dans les charpentes sont ou courbées naturellement, ou courbées par des procédés que nous avons décrits précédemment au chapitre V, ou enfin gabariées, c'est-à-dire en enlevant à la hache le bois qui excède les courbes qui marquent la forme qu'on veut obtenir. On a cherché à déterminer, par l'analyse, la force des pièces de bois dont la courbure est naturelle en les regardant comme des corps élastiques. Mais les résultats indiqués demandent à être vérifiés par un grand nombre d'expériences en grand, et ces expériences devront

(1) On obtient ce résultat par l'analyse ou par la méthode indiquée pour une pièce cylindrique, dans la note de la page précédente.

s'étendre sur les bois courbés à la hache pour connaître ce qu'ils perdent de force] par l'effet de l'interruption des fibres coupées par la courbure des gabarits.

Tout ce qu'on sait de positif, c'est que, comparant des pièces courbes à des pièces droites, de même longueur et de même équarrissage, la courbure naturelle augmente la résistance, tandis que la courbure à la hache la diminue.

Dans l'état actuel d'insuffisance de données positives à cet égard, ce qu'il y a de plus certain dans l'intérêt de la solidité des constructions, c'est de traiter les pièces courbes, ou plutôt leurs parties comprises entre des points qu'on peut considérer comme fixes, comme si elles étaient droites, et à l'égard des pièces gabariées à la hache on ne doit considérer comme solides et susceptibles de résistance réelle et de recevoir l'application des calculs du genre de ceux que nous avons indiqués ci-dessus, que leurs parties composées de fibres entières et non interrompues par les surfaces courbes gabariées à la hache.

III.

APPLICATIONS AUX CHARPENTES.

Le nombre des combinaisons des charpentes étant très-considérable, nous ne pouvons donner un exemple de calcul appliqué à chaque cas particulier; nous nous bornerons donc à des indications générales.

Nous avons déjà eu occasion de faire remarquer plusieurs fois que toutes les constructions en charpentes sont composées de pans ou de fermes qui concourent au soutien de l'édifice, et qui ont à supporter des efforts déterminés par les positions où ils sont employés; ce qui indique le mode de résistance qu'on doit obtenir des pièces de bois qui les composent, et les calculs à leur appliquer pour fixer les dimensions de chacune.

§ 1. *Pans de bois.*

Les pans de bois sont destinés à porter les planchers des édifices d'habitation bâtis en bois, ou à résister à quelque effort équivalent produit par une charge agissant verticalement.

Les pans de bois sont composés de pièces verticales; ainsi, pour s'assurer que les éléments d'un pan de bois ont des équarrissages convenables, eu égard à leur longueur, et qu'ils sont en nombre suffisant, on calcule la charge que le plancher doit supporter et quelle partie de cette charge, compris le poids du plancher lui-même, doit être portée par chacun des pans de bois, on répartit cette charge aux poteaux et même aux guettes qui entrent dans sa composition. Cette quantité connue, l'équarrissage des bois en est conclu d'après la règle que nous avons exposée au 2^e article du 2^e paragraphe de ce chapitre, relatif à la résistance à l'écrasement.

§ 2. *Planchers.*

Les planchers ont à résister à la pression des objets qui y sont déposés, suivant que ces objets sont placés à des points déterminés, fixes ou variables, ou qu'ils sont étendus d'une manière uniforme sur toute la surface du plancher.

Les planchers étant généralement composés de planches, ou de pièces équivalentes supportées par des solives et celles-ci supportées par des poutres, les dimensions de ces diverses parties doivent être calculées d'après le poids partiel que chacune doit supporter. Ainsi, les planches ayant une épaisseur d'usage, dite marchande, la portée de chacune, c'est-à-dire l'écartement des solives sur lesquelles elles sont clouées, est déterminée par le poids à supporter par chaque planche suivant que ce poids doit être appliqué sur un point déterminé ou qu'il se trouve également distribué sur toute l'étendue du plancher.

Il en est de même des solives; leurs longueurs et leurs équarrissages dépendent du fardeau que chacune doit supporter, soit que la charge doive être appliquée dans un point déterminé, soit qu'elle doive être également répartie sur tout l'espace du plancher correspondant à la solive, et limitée sur toute sa longueur entre les deux lignes qui partagent en deux parties égales les espaces compris entre cette même solive et les deux solives voisines.

On conçoit que si un meuble ou une machine d'un grand poids et porté par des pieds doit être posé sur un plancher, il faut que le poids réparti à chaque pied ne puisse rompre ni les solives ni les planches sur lesquelles les pieds se trouvent placés.

Il en est de même des poutres; elles doivent supporter la somme des poids dont les solives sont chargées, c'est-à-dire le poids de tout ce qui se trouve au-dessus d'elles, entre les deux lignes qui tracent sur le

plancher les milieux des espaces compris entre les poutres dont il s'agit et les deux poutres ou murailles voisines.

Dans les planchers composés de solives parallèles, perpendiculaires à des poutres aussi parallèles entre elles, il n'y a aucune difficulté de calcul et à vrai dire, il ne s'en présente jamais de bien grandes dans le calcul de la résistance des bois d'un plancher. Cependant, lorsque les solives sont réparties par compartiments, ou qu'elles ne sont point parallèles, ou enfin qu'elles forment des polygones comme dans quelques planchers que nous avons décrits au chapitre XI, il faut avoir attention de tenir compte des formes polygonales des parties du plancher qui portent sur les solives et même sur les poutres, pour réduire à propos les équarrissages et les proportionner aux longueurs des pièces sans cependant nuire au bon effet que les compartiments doivent faire en dessous des planchers, lorsqu'on les fait servir à la décoration des plafonds. Au surplus, on ne saurait apporter trop de soins et de prudence dans la fixation des dimensions des bois des planchers, et si, en général, un excès de solidité est à souhaiter dans quelques parties de l'art de bâtir, les pans de bois et les planchers sont les constructions qui commandent les plus sérieuses précautions pour ne point compromettre la vie des personnes qui les habitent ou s'y réunissent, et la conservation des objets qui peuvent y être placés ou emmagasinés.

§ 3. *Des combles.*

L'objet principal d'un comble est de porter la couverture d'un édifice, et chaque ferme doit en supporter une partie, celle qui est comprise entre les deux plans verticaux passant par le milieu de l'étendue de chacune des deux travées que cette ferme sépare; de sorte qu'en résultat chaque ferme porte les deux demi-travées qui lui sont contiguës, ce qui équivaut au poids d'une travée entière. Pour déterminer la force de chaque pièce de bois qui entre dans la composition d'une ferme, il faut commencer par fixer les dimensions nécessaires des pièces les plus élevées, ajoutant toujours au poids auquel il faut résister celui des pièces qui servent d'intermédiaire pour reporter l'action de ce poids sur les pièces immédiatement inférieures et qui les supportent.

Mais il est à remarquer que l'on ne peut pas toujours procéder avec cette régularité, et que souvent c'est après qu'on a composé la charpente, et même déterminé les équarrissages des pièces par une sorte d'appréciation de la pensée qui est une suite de la plus ou moins grande pratique, qu'on a de l'art, qu'on applique le calcul, qui n'est plus qu'une sorte de vérification d'après laquelle on fait les corrections qu'il est nécessaire de faire aux premières appréciations.

La première opération à faire pour appliquer le calcul à la détermination des équarrissages des pièces de bois qui doivent composer un comble, c'est le calcul du poids de la couverture, suivant la nature des matériaux employés pour former sa surface extérieure, suivant qu'elle est en tuiles, en ardoises ou en feuilles métalliques; le poids de cette couverture par mètre carré, compris celui des planches, détermine l'écartement des chevrons qui portent ce plancher, et enfin celui des pannes qui supportent les chevrons. Ici se retrouvent les mêmes circonstances que nous avons indiquées en parlant des planchers de pied, mais, en général, la résistance des chevrons est toujours déterminée pour la charge uniformément répartie dans toute leur longueur, et pour l'étendue comprise entre deux pannes. On n'est pas toujours à même de débiter les chevrons à des dimensions d'équarrissage qui conviendraient pour la disposition qu'il serait le plus convenable d'adopter, et l'on est forcé, aussi bien pour les chevrons que pour les planches, de prendre les bois comme le commerce les fournit. C'est alors la portée des chevrons que le calcul détermine en faisant toutefois la part de l'affaiblissement du bois par suite de la détérioration que le temps leur fait subir, cause à laquelle il arrive souvent qu'on n'a point assez d'égard et qui entraîne fréquemment dans des dépenses d'entretien considérables.

Dans les calculs relatifs à la détermination des équarrissages des chevrons, il faut remarquer que la charge de chacun est également répartie sur sa portée entre deux pannes, et qu'attendu leur situation inclinée, on doit leur appliquer la méthode que nous avons ci-dessus indiquée page 683, pour la résistance des bois inclinés.

Lorsque les espacements des pannes sont déterminés et que l'on connaît l'écartement des fermes, on peut calculer l'équarrissage qui convient à chaque panne que l'on regarde comme également chargée dans toute sa longueur de travée, vu l'égalité de l'espacement des chevrons et leur minime écartement; la position des pannes détermine les points par lesquels le poids du toit exerce son action sur les arbalétriers.

Ce que nous avons exposé au 3^e article du 7^e paragraphe est combiné d'ailleurs avec la circonstance de l'inclinaison des arbalétriers, de sorte que l'équarrissage de ces arbalétriers est aisé à déterminer par un calcul fort simple.

S'il n'y a qu'une seule panne, l'arbalétrier se trouve dans le cas d'une pièce chargée d'un poids dans le milieu de sa longueur.

Il arrive fréquemment qu'il n'est pas nécessaire de donner aux arbalétriers la force que leur étendue semblerait exiger, parce qu'ils se trouvent combinés avec les autres pièces de la ferme dont ils font partie. Si, par exemple, sous une panne qui serait située en p , fig. 22, pl. CLVII, on a

pu placer une contre-fiche pm , il est évident que c'est sur elle que se reporte l'effort produit au point p par le poids du toit, et que son équarrissage doit être déterminé de manière qu'elle puisse, suivant sa longueur de p en m , résister à l'écrasement dans le sens de sa longueur, et que l'arbalétrier n'a plus besoin d'une aussi grande force, puisqu'il n'a plus à résister à la rupture perpendiculairement à sa longueur. Vu la symétrie de la toiture, les efforts des contre-fiches pm , $p'm$ se réunissent au point m , et leur résultante agit dans le sens de la longueur du poinçon, c'est-à-dire de b en m , ce qui indique que l'équarrissage du poinçon doit être tel qu'il puisse résister à l'effort de traction exprimé par $Q = \frac{2P}{\cos a}$.

Q étant la force à laquelle le poinçon doit résister, P l'effort exercé sur une contre-fiche et transmis par elle au point m , sous l'angle $pm b = a$, il résulte de cette disposition que l'effort du poids du toit au point p et p' , transmis par la contre-fiche sur le poinçon, fait agir ce dernier tellement qu'il transmet à son tour cet effort et le partage aux arbalétriers qui reportent la portion qui leur est départie aux points a et a' pour exercer dans ces points une poussée dont nous nous occuperons plus loin au 4^e paragraphe. Il résulte de là aussi que l'arbalétrier doit résister à la force qui le comprime dans sa longueur de b en a , c'est-à-dire à l'écrasement, comme nous l'avons remarqué plus haut. Mais cette résistance ne doit être calculée que pour ses portions comprises entre les points d'application des pannes et des contre-fiches qui se font équilibre.

Lorsque des moises verticales, comme dans les fermes, fig. 8, pl. LXXXV, fig. 4, pl. LXXXVII, fig. 5, pl. LXXXIX, suspendent des planchers aux arbalétriers qui soutiennent la couverture, il faut, d'une part, proportionner les équarrissages de ces moises aux efforts de traction que leur occasionne le poids des planchers chargés des objets qu'ils doivent recevoir, et, d'autre part, tenir compte aussi de l'effort que ce poids occasionne sur ces arbalétriers et qui nécessitent un accroissement de leur force pour résister à l'écrasement dans le sens de la direction de leurs fibres; il faut également augmenter l'équarrissage des tirants pour résister à la poussée des arbalétriers résultant de leur participation au support des planchers.

Nous devons remarquer que, dans les calculs de l'espèce de ceux dont nous venons de parler, on tombe quelquefois dans une espèce de cercle vicieux dont on sort aisément par un tâtonnement beaucoup plus court que des calculs plus relevés et qui, en dernière analyse, donnent un résultat suffisamment exact, d'autant qu'il s'agit toujours de maintenir les choses fort au-dessus de l'équilibre parfait entre l'action de la pesanteur et celle de la résistance des bois.

§ 4. *Ponts.*

La détermination des équarrissages des bois employés dans les ponts, par le calcul, est fondée sur les mêmes principes; mais les ponts sont sujets à des détériorations plus graves et plus rapides que celles d'aucune autre espèce d'édifice en charpente, parce que les bois dont ils sont construits sont constamment exposés à l'humidité résultant de leur situation au-dessus de l'eau, et aux injures du temps, dont ils ne sont le plus ordinairement garantis par aucun abri. Une autre cause de détérioration des ponts en bois, c'est la presque continuelle vibration causée par les voitures et les pesants fardeaux qui les parcourent sans cesse. Ces vibrations sont entretenues et augmentées par la rudesse du roulage sur les pavés, dont on a eu pendant longtemps la pernicieuse habitude de former les chaussées des ponts, malgré qu'ils fussent en bois. Aujourd'hui on reconnaît qu'il faut adoucir le plus possible le roulage sur les ponts, ce qu'on obtient en formant les chaussées de toute autre matière que du pavé de pierre; et le mieux encore paraît être de faire des chaussées en madriers ou des chaussées pavées en bois de bout. (*Voyez* l'art. 6^e du chapitre L.) La durée des chaussées, suivant l'un et l'autre mode, est suffisante, et les dépenses d'entretien, quelles qu'elles soient, sont encore préférables aux fréquentes et constantes réparations des charpentes, et surtout à la reconstruction de ponts, qui autrement n'ont pas une durée qui puisse atteindre quinze ans au plus.

Pour fixer par le calcul les dimensions de bois de la charpente d'un pont, il faut déterminer le poids des plus grands fardeaux qui peuvent le parcourir, supposer même que le pont est chargé d'autant de ces fardeaux qu'il peut en contenir passant en même temps sur sa chaussée. Cette charge répartie aux fermes, on applique aux divers points d'assemblage la portion du poids, qui peut agir sur ses points avec le plus de puissance; ces calculs ne sont ensuite que des applications de ceux que nous avons déjà expliqués. C'est ainsi que l'on détermine les dimensions d'équarrissage des longerons simples selon leur portée, si c'est un pont construit suivant ce système; et l'on suppose la charge partielle agissant dans le milieu de la longueur des longerons; mais fréquemment des contre-fiches soulagent ces longerons et permettent d'y employer des bois de moindre équarrissage, vu que ces longerons se trouvant divisés par les points d'assemblage des contre-fiches, ou par ceux où les contre-fiches joignent les sous-longerons, la force de chacune de ces parties n'a plus besoin d'être aussi grande que celle d'un longeron d'une seule portée sans soutien intermédiaire.

Cette disposition nécessite le calcul des équarrissages qu'il convient de donner aux contre-fiches. Soit, fig. 24, pl. CLVII, un longeron de pont $a b$, son équarrissage sera déterminé par la résistance qu'il doit opposer à un poids ou fardeau P dans toute les positions qu'il peut prendre sur toute sa longueur, et c'est dans le milieu de cette longueur que son action est la plus puissante. Si l'on suppose que sous ce longeron deux contre-fiches lui servent de soutiens, il est évident que si ces contre-fiches ont une force suffisante, on pourra diminuer l'équarrissage des longerons, qui se trouvera partagé en trois portées partielles $a m'$, $m m'$, $m b'$, dans lesquelles l'équarrissage pourra être réduit à la force nécessaire pour chacune.

Pour que chaque contre-fiche remplisse le but pour lequel on l'a établie, il faut qu'elle puisse résister à l'écrasement résultant de la pression exercée sur elle par le poids dont le pont est chargé, il faut de plus supposer ce poids agissant en P , et cette action reportée au point m ou m' , de sorte que faisant $ab = l$, am ou $bm' = a$, on a $Q = \frac{Pl}{2a}$. Si l'on suppose que l'effort Q agit dans la verticale passant par le point m , cet effort se décompose en deux autres, l'un agissant suivant la direction $m b$, est détruit par l'effet de la résistance du point b , l'autre dans la direction de la contre-fiche, suivant $m r$, est égal à $\frac{Q}{\cos m}$; m étant la valeur de l'angle $r m o$ que fait la contre-fiche avec la verticale; c'est à cet effort d'écrasement que la contre-fiche doit résister.

Quel que soit le nombre des contre-fiches et leur combinaison, le calcul, s'effectue de la même manière, et si la contre-fiche est saisie par une moise gj et par une moise horizontale passant par le point j et unissant toutes les contre-fiches homologues des fermes; le point j est regardé comme fixe, et la résistance de la contre-fiche à l'écrasement ne doit plus être satisfaite que pour chacune de ces deux parties $m'j$, $r'j$ en raison seulement de la longueur de chacune.

§ 5. Arcs employés dans les fermes des ponts.

Nous avons déjà fait remarquer que l'on manque d'expérience pour établir une théorie complètement satisfaisante sur les pièces cintrées, et d'une application facile; cette observation ne doit s'entendre que pour des pièces cintrées d'un grand développement qui fonctionneraient presque seules dans une charpente. Le plus ordinairement les arcs en gros bois qui se trouvent employés dans les fermes de pont sont combinés avec d'autres pièces, notamment avec des moises pendantes qui divisent leur développement en portions égales, et les arcs partiels ont alors une si

faible courbure que l'on peut sans nul inconvénient considérer chacun d'eux comme s'il était droit et compris par conséquent entre deux points que l'ont peut, en quelque sorte, regarder comme fixes. Soit, par exemple, fig. 23, pl. CLVII, un arc $a b a'$ qui se trouve combiné à un système de ferme dans lequel se trouve le longeron $d d'$. Par le moyen de moises pendantes $m o, n u, m' o', n' u'$, les parties $o u, u b, b u', u o'$, vu leurs faibles courbures, peuvent être regardées comme une suite de contre-tiches sur lesquelles l'action du fardeau, placé dans la position où il a le plus de puissance, agit pour la comprimer par écrasement, et ce même fardeau, en passant par toutes les positions qu'il peut avoir, reporte son action sur les mêmes cintres par l'intermédiaire des moises pendantes. Supposant donc que l'effort produit par le point m soit représenté par Q agissant par la verticale $m q$, c'est donc cette force qui agit sur l'arc au point o et qui se décompose en deux efforts dirigés chacun suivant la longueur de chaque portion d'arc $o u, o a$, et ces parties d'arc ont à résister à l'écrasement occasionné par ces forces. A la vérité, la courbure de ces parties paraît devoir diminuer leur résistance, puisque, comme nous l'avons dit précédemment, dès qu'une pièce commence à se courber, sa force diminue. Mais ici il faut remarquer que la courbure de ces pièces ne résulte pas de la compression qu'elles éprouvent suivant leur longueur, puisqu'elles sont courbées dans un sens opposé à l'action de la puissance qui agit sur elle; par conséquent la diminution de leur force n'est pas aussi considérable que celle qui résulterait d'un commencement de courbure par l'effet de cette compression. D'ailleurs, dans l'évaluation de la résistance qu'elles doivent opposer, on leur assigne un équarrissage qui donne à leur résistance une valeur dix fois plus grande que celle que le calcul indique.

IV.

POUSSÉES DES CHARPENTES.

§ 1. *Poussée des fermes en bois droits.*

Toutes les circonstances de la poussée des charpentes formées de pièces droites se rapportent à celles d'un comble triangulaire $a b a'$, fig. 22, pl. CLVII.

Soient deux arbalétriers $a b, a b$ assemblés dans un poinçon vertical au point b et retenus dans leur position par l'assemblage de leurs pieds dans le tirant représenté par l'horizontale $a a'$.

Leur poids joint à celui de la couverture qu'ils supportent, compris les chevrons, les pannes et toutes les autres pièces entrant dans la composition des pans de toits, même les lucarnes, produit un poids unique dont l'action est dirigée parallèlement à l'axe du poinçon $b d$. Soit $2 P$ ce poids, P étant celui de chacun des deux pans du toit; soit aussi l'angle $b a d$ ou $b a' b$ que forme chaque pan du toit avec l'horizontale désigné par a . Les arbalétriers devant être inflexibles, soit par l'effet de leur équarrissage, soit par l'effet des soutiens auxiliaires distribués sur leur longueur, tels que des contre-fiches ou des entrails, l'effort transmis dans la direction de leur longueur est exprimé par $Q = \frac{P}{\sin a}$, expression au moyen de laquelle on détermine la surface de leur équarrissage, dans le cas de la résistance à l'écrasement suivant la longueur des fibres.

La résistance à l'effort suivant la direction $d a$ parallèle au tirant est exprimée par $R = \frac{P \cos a}{\sin a}$, l'expression de la résistance dans le sens de $d a'$ est la même. Ces forces égales et directement opposées sont la mesure de l'action horizontale exercée en a et en a' par la poussée du comble, c'est-à-dire qu'elles expriment la tension du tirant $a a'$, et l'équarrissage de cette pièce sera déterminé par l'égalité de cette tension avec la résistance du bois à la traction par centimètre carré, d'après ce que nous avons précédemment exposé dans le 3^e paragraphe ci-dessus.

A l'égard de l'équarrissage des arbalétriers ou de leurs parties, si des appuis sont distribués sous quelques points de leur longueur, il est déterminé par la nécessité de résister, en outre, à la rupture sous leur propre poids, et sous la charge de la couverture; cette résistance est représentée par $K = P \cos a$. Ainsi la formule qui donne la surface de l'équarrissage pour résister à la rupture doit donner cette même égalité.

Si l'on substitue un système angulaire $a m a'$ au tirant $a a'$, en représentant l'angle $m a d$ ou $m a' d$ par n , la tension suivant la ligne $m a$ ou $m a'$ et celle suivant $a d$ ou $a' d$, seront entre elles dans le rapport de $a m$ à $a d$; ainsi, dans ce cas, l'expression de la tension T suivant $a m$, ou $a' m$, est $T = \frac{P \cos a}{\sin a \cos n}$.

Nous devons faire remarquer ici que si, au lieu d'un tirant a, a' ou au lieu d'un système angulaire $a m a'$, on établit des entrails suffisamment liés aux arbalétriers, le tirant et les entrails s'opposeront simultanément à la poussée, et la somme de leurs résistances devra encore être égale à $\frac{P \cos a}{\sin a}$, et, par conséquent, l'équarrissage de chacun pourra être diminué, de sorte que la somme des surfaces d'équarrissage soit égale à celle qu'aurait le tirant s'il était seul.

Il en est de même des tirants en bois ou en fer du système angulaire, représentés par les lignes am , $a'm$. Quel que soit le nombre des tringles parallèles à am ou à $a'm$, pourvu qu'elles soient parallèles, la somme de leurs résistances doit toujours être égale à $\frac{P \cos a}{\sin a \cos n}$.

C'est ce résultat qui a servi à régler la résistance des tringles en fer de mon système de charpentes dont j'ai donné la description page 281, pl. CXVIII. Le diamètre des tringles jumelles augmenté de ce qu'exige la sécurité de la construction a été fixé à 19 millimètres.

Dans les fermes composées comme celle de la figure 23, pl. CLVII, la poussée exercée par les contre-fiches sur les murs dans le sens horizontal rt , l'angle amr étant représenté par m , et représentant par P la force d'écrasement à laquelle la contre-fiche doit résister, cette force étant aussi celle transmise par la contre-fiche suivant la direction m sur le point r ; la poussée suivant rt est exprimée par $Q = P \cos m$.

À l'égard de la poussée exercée par les arcs qui font partie des fermes, fig. 23, il suffit de calculer la poussée horizontale exercée au point a , naissance de l'arc, de la même manière que celle exercée par une contre-fiche suivant la tangente à l'arc, la partie oa que nous considérons pouvant être regardée comme droite sans craindre de faire une erreur préjudiciable à la solidité de l'édifice. On peut même dans une première appréciation considérer tout le système ado comme d'une seule pièce inflexible et lui substituer, dans un calcul approximatif, la ligne ao sur laquelle se trouveraient reportés tout le poids du système et celui du fardeau P , ce qui ramènerait la question au cas de la poussée exercée par une contre-fiche ou par un pan de toit.

§ 2. *Poussée des cintres.*

La question de la résistance des cintres en charpentes pour la construction des grandes voûtes, telles que celles des arches des ponts en maçonnerie, est une des plus compliquées lorsqu'on la considère par rapport aux cintres dits flexibles, et l'application du calcul ne saurait donner des résultats complètement satisfaisants; on est d'ailleurs forcé de reconnaître que, malgré la beauté des ponts qui ont été exécutés, la science qui a présidé à leur exécution et le mérite éminent des ingénieurs qui en ont eu la direction, ces sortes de cintres n'ont point satisfait entièrement aux conditions de leur destination.

L'objet qu'on doit se proposer, dans la composition et l'établissement des cintres pour servir comme de moule à la construction d'une voûte en pierre, est de donner à chaque cours de voussoirs un appui solide et in-

variable, et tel que les positions de tous les voussoirs en pose, et celles de tous les voussoirs posés avant eux, ou qui le seront après, soient les mêmes que celles qu'ils devaient avoir d'après les épures des projets ou qu'ils doivent avoir lorsque la voûte sera terminée, et qu'elle n'aura plus à subir que le tassement résultant de la compressibilité du mortier.

C'est assurément une condition à laquelle aucun des cintres flexibles n'a pu satisfaire, tellement que, pour approcher, autant que possible, de ce résultat dans ce système, on s'était vu forcé d'accumuler sur ces cintres des voussoirs et des pierres de taille pour les charger et faire équilibre à la pression des cours de voussoirs posés sur leurs reins; à la vérité ces pierres étaient des pierres d'appareils qui devaient entrer dans la composition des arches; il n'en résultait pas moins de grands frais de main-d'œuvre et une grande incertitude dans la manière d'opérer, et, pendant la construction, des variations nuisibles à la perfection du travail, et surtout à l'uniformité des combures des arches.

On reconnaît aujourd'hui que les cintres fixes, aussi invariables de forme que la nature et la qualité du bois le permettent, sont les seuls qu'il convient d'employer, et l'art retrouve encore ici l'application des principes sur lesquels se fonde la stabilité des formes des charpentes en général.

Pour assurer l'invariabilité de la courbe d'un cintre, il faut rendre chaque point, ou au moins ceux qui doivent porter les voussoirs, indépendant de tous les autres; on ne peut obtenir ce résultat qu'en plaçant, au point qu'on veut rendre invariable, l'angle ou le sommet d'un triangle dont les côtés sont appuyés sur une base invariable et tout à fait indépendante des autres points. Si l'on examine la construction des cintres flexibles; il est aisé de s'apercevoir qu'ils ne peuvent aucunement remplir cette indispensable condition.

La figure 28, pl. CLVII, représente deux triangles $am'a$, $an'a$ qui font partie de la combinaison dont nous venons de parler. Ces deux triangles rendent les positions des points m et n indépendantes de celles de tous les autres points de la courbe $amnb'a$.

On peut également rendre invariable la position d'un point en la fixant par un rayon comme celui da , appuyé sur une base invariable que sa position a rendue inflexible en lui donnant un nombre suffisant de points d'appuis ou de supports fixes.

Les cintres des figures 6, 7, 13, de la planche CXXI, 1, 5, 12 de la planche CXLII, satisfont plus ou moins bien complètement à ces conditions.

Il suit de ce système, à l'égard de l'application du calcul à la détermination de la résistance des pièces de bois qui entrent dans sa composi-

tion, qu'il ne s'agit que de calculer l'intensité de force suivant laquelle chaque pièce, ou chacune de ses parties comprises entre des points fixes, est soumise à l'écrasement dans le sens de la longueur de ses fibres, et de proportionner sa surface d'équarrissage à cette pression.

§ 3. *Poussée des arcs employés dans les fermes des combles.*

Je crois être le premier qui ait fait remarquer que les arcs en plein cintre, et à plus forte raison ceux elliptiques surbaissés employés dans les fermes des combles, dès qu'ils sont flexibles, ont une poussée vers le niveau des points que l'on désigne ordinairement sous le nom de *reins* dans les voûtes en maçonnerie.

Les expériences qui ont précédé l'exécution de mon système d'arcs en madriers courbés sur leur plat (page 199), ont signalé particulièrement ce genre de poussée, et j'ai fait voir que cette poussée résulte de la flexibilité d'un arc d'équarrissage uniforme, que rien ne maintient dans sa figure circulaire $am b m' a'$, fig. 27, pl. CLVII, et qui lui fait prendre celle $an p n' a'$ dans laquelle les tangentes, aux naissances, au lieu d'être verticales, ont les positions inclinées $at, a't'$. Dans cette position, la poussée aux naissances paraît se diriger en sens inverse de ce qu'elle est ordinairement, et de ce qu'elle serait réellement sans la flexibilité, ou si les murs au niveau des naissances ne présentaient pas une résistance suffisante à la force avec laquelle l'arc tendrait à les renverser au dehors, ainsi que le prouvent les expériences faites par M. le capitaine Ardant.

J'ai fait voir au chapitre XXX comment la poussée, au niveau des reins, doit être détruite par le système même, en ajoutant à l'épaisseur de l'arc sur les reins des madriers courbés sur leur plat qui augmentent la roideur de l'arc dans ces parties et la mettent en équilibre avec l'action de la pesanteur au sommet, ce qui maintient le cintre dans sa forme circulaire primitive, ou qui en diffère infiniment peu. Dans ce cas, la poussée à la naissance seule subsiste, et elle est assez minime pour que l'épaisseur à donner aux murailles pour leur propre stabilité, augmentée de celle de la charpente à sa naissance, suffise pour lui résister.

Les anciennes constructions, comme les plus récentes, prouvent que les hémicycles du système de Philibert Delorme s'abaissent aussi à leurs sommets, et manifestent une poussée à la hauteur des reins; mais dans ces sortes de charpente, le moyen de détruire cette poussée ne peut être le même que dans mon système de madriers courbés sur leur plat, car on ajouterait en vain autant de planches que l'on voudrait aux épaisseurs des hémicycles, on ne la détruirait point; il est probable

même qu'au contraire, on l'augmenterait, à cause du poids ajouté sans utilité à ces hémicycles. Dans les charpentes suivant le système de Philibert Delorme, le changement de forme des hémicycles est dû plutôt au jeu qui existe dans les assemblages d'about des planches, qu'à la flexibilité du bois, qui est presque nulle dans des planches de champ, qui sont fort courtes. Il est aisé de remarquer que le mouvement dans les hémicycles a une très-grande analogie avec celui qui a lieu dans les voûtes en pierres de taille, les planches étant posées et assemblées en coupe de la même manière que des voussoirs.

On pourrait remédier à cette espèce de tassement des joints, et à cette poussée des reins des hémicycles, en donnant à leur extradós à peu près la même forme qu'à ceux des voûtes en pierres, c'est-à-dire, en augmentant leur épaisseur à leur naissance.

On prévient le changement de forme des hémicycles, en coupant les assemblages avec la plus scrupuleuse précision, et même en leur laissant un léger excès de bois, pour prévenir les refoulements; en serrant le plus possible les planches en joint suivant leurs coupes, et en multipliant les liernes de façon que chaque planche soit liée avec chacune de celles qui la touchent au moins par deux de ces liernes, également très-serrées elles-mêmes dans leurs mortaises et par des clefs; et enfin, en surhaussant dans le tracé le gabarit de l'hémicycle, en même temps qu'on applatit la convexité des courbes sur les reins, afin qu'après le mouvement dont nous venons de parler, l'hémicycle ait repris sa forme circulaire, telle qu'on aura voulu la lui donner.

À l'égard de l'application de l'analyse à la poussée des arcs dans les charpentes, elle présente toutes les difficultés des questions dans lesquelles la flexibilité de la matière, et les variations de formes qui s'ensuivent, viennent compliquer les hypothèses que l'on peut faire pour les traiter par le calcul.

Nous ne pourrions rien faire de mieux que de transcrire ici une partie du Mémoire de M. le capitaine Ardant, que nous avons cité dans notre préface; nous sommes forcé de nous borner à renvoyer nos lecteurs à ce Mémoire, qui a reçu l'approbation de l'Académie des sciences, et a été jugé, par elle, digne d'être inséré dans le Recueil des Mémoires des savants étrangers.

M. le capitaine Ardant a joint à ses calculs la description et les résultats des expériences qu'il a faites en grand à Metz, aux frais du ministère de la guerre, et qui ne pouvaient être entreprises que de cette manière; elles ne peuvent manquer d'intéresser beaucoup les constructeurs.

Nous remarquerons, à l'égard de la question traitée dans ce Mémoire, qui a pour objet l'emploi des grands arcs, que l'auteur paraît avoir eu pour

but de prouver que les fermes uniquement en bois droits auraient la supériorité sur celles dans la combinaison desquelles les constructeurs comprennent des arcs, et que c'est à tort qu'ils ont cru ajouter par ce moyen à la solidité des charpentes. Quoique je ne partage point l'opinion de M. le capitaine Ardant à cet égard, on vient de voir que je rends justice au mérite et à l'utilité de son travail. Mais je persiste dans la conviction que, le plus souvent, il est préférable d'employer des cintres dans les grandes charpentes, plutôt que des combinaisons qui n'admettent que des bois droits. C'est, au surplus, l'avis des commissaires (1) de l'Académie des sciences, qui ont examiné le mémoire de M. le capitaine Ardant; ils s'expriment ainsi :

« Les critiques adressées par l'auteur (M. le capitaine Ardant) aux fermes en arcs composés, les accidents auxquels l'application de ces fermes a donné lieu dans ces derniers temps, par suite d'une fausse sécurité qui ne saurait être imputée à leur ingénieux inventeur, enfin la préférence absolue que M. Ardant accorde aux fermes composées de pièces droites, même à la ferme antique dite de *Palladio*, ne sauraient être des motifs suffisants pour faire renoncer aux systèmes de MM. Lacaze et Émy; car, lorsqu'ils sont bien construits, il leur restera toujours le mérite de l'élégance, de la continuité des formes, et d'une parfaite liaison de toutes les parties, liaison qui ne saurait exister au même degré dans les fermes constituées uniquement de pièces droites. C'est aussi dans cette conviction que M. Ardant, après avoir établi une table d'équarrissage à donner aux pièces en fer et en bois qui entrent dans la composition de la ferme de *Palladio*, en présente plusieurs autres, fort complètes, relatives aux fermes simples, droites ou cintrées, et aux charpentes en arcs, composées du système de M. Émy, tables qu'il a accompagnées d'indications et de prescriptions très-utiles, d'accord en plusieurs points d'ailleurs avec le système de construction adopté et recommandé par cet ancien officier supérieur du génie, dans un ouvrage bien connu. »

J'ajouterai que, pour des charpentes d'une portée excessivement grande, les arcs et surtout ceux en bois courbé sur leur plat sont les seuls moyens d'exécution que l'art fournit.

Les constructeurs n'ont jamais prétendu donner de la stabilité aux charpentes des combles en bois droits, par le seul fait de la combinaison des arcs dans leurs fermes; leur seul but a toujours été de fournir aux fermes des soutiens *plus gracieux* et mieux appropriés aux intérieurs que

(1) La commission était composée de MM. de Prony, Arago, Coriolis, Rogniat; Poncet, rapporteur.

ceux formés de pièces droites. Le plus souvent, d'ailleurs, c'est le contraire qui a eu lieu, c'est-à-dire, comme on l'a fait notamment pour les applications modernes du système de Philibert Delorme, qu'ayant résolu de faire des arcs en berceaux pour le bon aspect des intérieurs, on leur a combiné des bois droits extérieurement, afin que les toits fussent plans, pour éviter l'entre-bâillement des tuiles et des ardoises qui aurait eu lieu sur des surfaces courbes (1).

On peut déterminer par approximation la force et la poussée des arcs employés dans les charpentes à grandes portées. Prenons pour exemple une ferme de la charpente de Marac, près Bayonne (p. 197, pl. CVIII); l'arc est divisé en trois parties distinctes par les deux points où il se réunit aux arbalétriers; ces deux points répondent aux liens placés de chaque côté entre les 7^e et 8^e moises. On remarque, d'après les expériences citées, que l'abaissement de la partie supérieure de la ferme comprises entre ces deux points, a eu lieu sans que la courbure de la portion d'arc correspondante ait changé sensiblement. On remarque encore que les parties du même arc, comprises des deux côtés entre ses naissances et les mêmes points, n'ont augmenté de courbure lors de l'épreuve, que parce que la roideur était trop faible, et que leur épaisseur ayant été augmentée aux reins, la roideur s'est accrue, et les courbures n'ont plus changé sous la charge que l'on a fait supporter à la ferme.

Il est évident, d'après cette observation, que, dans le calcul approximatif dont il s'agit, la roideur de l'arc ou sa résistance peut être représentée par celle d'une pièce $d d'$, fig. 27, établie de chaque côté en place de l'arc comme serait un aisselier, et dont les fibres seraient tangentes à celles de l'arc dans leur rencontre avec le plan de moindre résistance ayant pour trace la ligne $r s$. Cette pièce droite est supposée devoir résister, comme l'arc, 1^o à l'écrasement dans la direction de ses fibres, sous la pression exercée par le poids du toit et de sa couverture;

(1) M. le capitaine Ardant a donné, pl. I, fig. 6, le dessin d'une ferme de la composition de M. Lasnier, habile charpentier à Paris, comme un modèle que l'on peut imiter lorsqu'il s'agit de construire un comble dont la partie supérieure *soit entièrement dégagée de pièces de charpente*. Quoique je connusse cette ferme, je ne l'ai point comprise dans mes planches, parce qu'elle a beaucoup de ressemblance avec celles que l'on emploie pour cintrer les voûtes qui s'y trouvent décrites, et je n'en parlerais pas si je ne devais faire remarquer qu'elle ne remplit point les conditions au sujet desquelles elle est présentée comme modèle, vu qu'elle appartient à un comble cylindrique, que c'est son extérieur qui est entièrement dégagé de pièces de charpente, et que l'intérieur en est, au contraire, embarrassé, et que ces pièces y occupent un tiers de la surface que l'arc comprend, inconvénient que n'ont point les fermes partant des arcs intérieurs.

2° à la flexion qui pourrait être produite par le même poids du toit avec sa couverture agissant suivant la verticale mo , et décomposé en deux forces, l'une dans la direction ma ou dd' , et l'autre dans la direction mq , appliquée à l'extrémité de la pièce dd' ou de l'arc ma appuyée dans son milieu sur un point immobile r , son autre extrémité étant fixée au point d' ou en a , hypothèse admissible dans un calcul approximatif, puisque l'arc ou la pièce dd' , que l'on suppose à sa place, est combiné dans le point r par une moise avec le poteau et l'arbalétrier; ce qui équivaut, ainsi que nous l'avons fait voir page 676, à l'effort de deux forces appliquées aux deux extrémités de la pièce dd' ou de l'arc dans les directions mq , aq' , ou à une seule force double appliquée au point r dans la direction or , les deux appuis étant en d et d' .

En nommant P le poids du pan de toit, compris celui de la couverture, Q l'effort produit dans la direction des fibres de la pièce dd' , à l'angle que fait la pièce dd' ou la corde de l'arc ma avec la verticale, on a pour la résistance à l'écrasement $Q = \frac{P}{\cos a}$. En appliquant les nombres, on trouve que P étant égal à 4 400 kil., l'angle a étant de 35 degrés, $Q = 5 371$ kil. Un équarrissage de 20 à 30 centimètres carrés suffirait pour résister à l'écrasement. L'arc de la charpente de Marac et son aisselier ont un équarrissage de 0^m,13 sur 0^m,45 qui présente une surface dépassant de beaucoup la force nécessaire pour résister à l'écrasement dans le sens de la longueur des fibres du sapin.

Appelant R la portion de la force P agissant dans la direction mq , on a $R = P \sin a$, et pour la force R' agissant dans la direction or , $R' = 2P \sin a$. En appliquant les nombres, P étant toujours égal à 4 400 kil., on trouve $R = 5 048$ kil. pour l'effort dans la direction or . Dans la charpente du hangar de Marac, la ligne dd' ou ma , a 10^m,800 de longueur, l'épaisseur horizontale de l'arc est 0^m,130, son autre dimension d'équarrissage, l'aisselier compris, est 0^m,450; on a par conséquent $R' = \frac{feh^2}{l} = \frac{3,97 \times 130 \times 140^2}{10,800} = 9 677$ kil., quantité qui est presque le double de la résistance que l'on doit opposer, et qui doit donner toute sécurité, puisque l'arc ma est divisé en huit parties par les moises, et qu'il se trouve comme armé par sa combinaison avec ces moises et les autres pièces de la charpente.

Pour ce qui regarde la poussée sur les murs à la hauteur des naissances, on peut, d'après ce qui précède, et toujours dans l'hypothèse d'un calcul approximatif, considérer encore la ferme comme composée de trois parties qui ont été, en définitive, constituées pour être inflexibles, de sorte que la ligne ma , corde de l'arc, peut être prise de chaque côté

pour la partie inférieure de l'arc. Nous avons déjà vu que pour la force dans la direction ma on a $Q \frac{P}{\cos a}$. Cette force agissant au point a se décompose en deux autres forces. La résistance du sol est opposée à la force verticale; la force horizontale, dans le sens ac , a pour valeur $F = \frac{P \sin a}{\cos a}$. En appliquant les nombres, on trouve $F = 3\,081$ kil., son moment = $9\,243$. Le mur, depuis la fondation jusqu'à la naissance, a 3 mètres de hauteur; son épaisseur est de $1^m,12$; le mur, au-dessus de la naissance jusqu'à la sablière, a 7 mètres de hauteur; son épaisseur est de $0^m,60$; l'écartement des fermes étant de 3 mètres, et le poids de la maçonnerie de $2\,230$ kilom. par mètre cube : le cube du mur, au-dessous de la naissance,

est de $40^m,08$, son poids de $22,579$ kil., son moment de $44\,451$
le cube du mur au-dessus de sa naissance,

est de $12^m,60$, son poids de $28,224$ kil., son moment de $9\,596$

Le moment total est de. 24\,047

qui est à peu près 2 fois $\frac{2}{3}$ la valeur trouvée ci-dessus pour le moment de F .

Si l'on ne voulait point donner à l'arc une roideur suffisante pour maintenir sa forme circulaire, et qu'il fallût suppléer ce défaut de roideur en opposant la résistance du mur à la poussée, il serait suffisant, dans l'hypothèse encore d'une approximation, de calculer, comme précédemment, la résistance dont l'arc ou la pièce $d d'$ serait capable, d'après l'équarrissage qui lui aurait été donné, et de considérer la résistance qui lui manquerait comme une force R agissant dans la direction or , et produisant au point s une poussée horizontale $T = D \cos a$, la quantité D étant l'excès de la force R , sur la résistance dont l'arc ou la pièce supposée $d d'$ serait capable.

Nous reproduisons, au surplus, le conseil que nous avons déjà donné de faire précéder toute construction de ce genre, d'expériences qui puissent guider dans l'exécution et dont les résultats assurent une entière sécurité. Nous avons indiqué, fig. 27, pl. CLVII, la disposition que nous avons adoptée pour mesurer, lorsqu'il y a lieu, la poussée des reins d'une charpente dans la composition de laquelle se trouve un arc, quelle que soit d'ailleurs la construction de cet arc.

as , $a's'$ étant les poteaux de la charpente contre lesquels vient agir la poussée des reins, si elle n'est pas détruite par la combinaison des bois, ou si on veut lui opposer la résistance d'un mur.

Au niveau des points où la poussée des reins se manifeste, on établi-

deux poulies x x' répondant au milieu de la portée de la ferme. Deux cordes sont attachées aux points n n' après avoir passé sur ces poulies, elles soutiennent en z un plateau sur lequel on place des poids en suffisante quantité pour faire équilibre à la poussée. Il est entendu que la ferme est préalablement chargée dans tous les points où s'appliquent les pannes de poids égaux à la charge des parties du toit auxquelles elles correspondent.

Les poulies sont élevées au niveau qu'elles doivent occuper sur un haut chevalet que la figure n'indique pas.

Le poids qui fait équilibre à la poussée des reins sert à déterminer l'épaisseur qu'il s'agit de donner aux murailles en y comprenant l'excédant de force qu'il est indispensable de leur donner au-dessus de l'équilibre pour garantir une sécurité parfaite. Nous faisons remarquer que, lorsque l'on emploie notre système d'arcs en madriers courbés sur leur plat, il y a toujours économie en détruisant la poussée par une augmentation de roideur dans les parties des arcs répondant aux reins, c'est-à-dire par une addition de madriers, plutôt que par une augmentation de l'épaisseur à donner aux murs.

Nous rapportons ici une observation utile mentionnée par M. le capitaine Ardant : « L'expérience prouve, dit-il, qu'un mur pressé sur un seul point par une force horizontale ne se rompt pas tout d'une pièce autour de l'arête extérieure de sa base, mais suivant deux lignes inclinées, de manière qu'il se détache un triangle dont le sommet est sur le sol et la base au niveau du point d'application de la force, d'où il suit que le moment de la résistance du mur doit être à peu près divisé par 2. D'un autre côté, pour se mettre à l'abri des ehocs et des charges accidentelles, il convient de doubler le moment de la poussée dans les calculs; et, enfin, il faut ajouter encore ce moment à lui-même pour que la résistance surpasse la poussée, car l'équilibre exact ne donnerait aucune sécurité. »

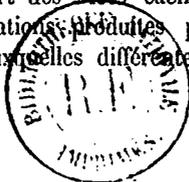
On voit qu'en somme l'expression de la poussée obtenue, soit par la théorie, soit par l'expérience, devrait être sextuplée pour déterminer le moment de chaque mur et par conséquent son épaisseur.

On peut remédier à la rupture des murs en triangles signalée par M. le capitaine Ardant, en donnant à des liernes appliquées horizontalement le long de leurs parois, des équarrissages suffisants pour qu'elles ne plient point et qu'elles répartissent la poussée sur la totalité de chaque mur, au lieu de la laisser agir seulement sur les points correspondant aux fermes.

Cette répartition de la poussée sur la totalité de l'étendue des murs est un des avantages de quelques charpentes du moyen âge et de celles

de Philibert Delorme, telles qu'il les a exécutées par hémicycles rapprochés qui ne laissent point d'intervalles pour la distribution des ruptures triangulaires des murs.

Nous devons, en terminant, faire remarquer au sujet des expériences que nous venons de conseiller sur des fermes d'épreuve de la même grandeur que celle de l'exécution d'une grande charpente et avant cette exécution, que les constructions pour lesquelles ces expériences préalables sont nécessaires, ont une importance telles que les frais de ces sortes d'essais sont fort minimes en comparaison de la dépense totale, et qu'en présence de la gravité que peuvent avoir les résultats, on ne saurait prendre trop de précautions, user de trop de moyens pour s'assurer d'avance du succès de l'exécution; et, dussent quelques personnes me blâmer de la préférence que je parais accorder à des expériences en grand sur les résultats théoriques pour déterminer définitivement les dimensions de certaines parties des constructions, je dirai qu'il est si difficile de calculer sans faire d'erreurs, même par les formules les plus simples, obtenues par l'analyse la plus savante, et avec une probabilité complète d'égalité, entre la force et la résistance qui doit lui être opposée, qu'il est toujours préférable de s'assurer de cette égalité par des épreuves préalables, afin d'être ensuite, en complète connaissance de cause, maître de l'excès de résistance qu'il convient de donner dans l'exécution pour la sécurité, et pour faire la part des vices cachés de quelques éléments de l'édifice, ou des dégradations produites par le temps, et prévenir les chances malheureuses auxquelles différentes circonstances peuvent exposer les constructions.



FIN DU TOME DEUXIÈME ET DERNIER DU TRAITÉ DE L'ART DE LA CHARPENTERIE
PAR LE COLONEL ÉMY.

(Voir le supplément : *Éléments de charpenterie métallique.*)

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME DEUXIÈME.

PRÉFACE.....	Pages v
--------------	------------

CHAPITRE XVI.

COMBLES A SURFACES COURBES

Combles à surfaces courbes.....	1
---------------------------------	---

I. *Combles cylindriques extérieurement.*

§ 1. Croupes.....	1
Note sur le tracé des ellipses.....	3
§ 2. Empannons de croupe.....	6
§ 3. Pannes et tasseaux sous l'arêtier.....	7
§ 4. Noues.....	10
§ 5. Pannes et tasseaux sous la noue.....	10
§ 6. Empannons de noue.....	11

II. *Combles cylindriques intérieurement.*

§ 1. Croupe et arêtiers.....	11
§ 2. Noue.....	14

III. *Comble en impériale et en berceau intérieurement.*

IV. *Voûte d'arête et voûte de cloître.*

§ 1. Disposition générale.....	17
§ 2. Voûte d'arête.....	19
§ 3. Arc de cloître.....	20
§ 4. Voûtes gothiques.....	22

CHAPITRE XVII.

SUITE DES COMBLES A SURFACES COURBES.

Suite des combles à surfaces courbes.....	24
---	----

I. *Combles sphériques.*

II. *Combles ellipsoïdaux.*

III. *Combles coniques.*

§ 1. Comble conique sur un seul poinçon.....	28
§ 2. » avec faitage circulaire.....	30

IV. *Compartiments et caissons dans les voûtes en charpente.*

1.	Caissons d'une coupole sphérique.....	31
2.	» d'une voûte circulaire en ogive.....	34
3.	» d'une voûte cylindrique.....	35
4.	» d'une voûte conique.....	35
5.	» d'un pignon plan et circulaire.....	36
6.	» d'une voûte ellipsoïdale.....	36

CHAPITRE XVIII.

NOULETS.

Noulets.....	37
--------------	----

I. *Noulets entre toits plans.*

1.	Noulets débillardés.....	37
2.	» creusés.....	39
3.	» pour pannes.....	40
4.	» biais.....	40
5.	Petits noulets pour lucarnes.....	42
6.	Noulets pour pans coupés dans les combles.....	44

II. *Noulets entre surfaces courbes et surfaces planes.*

1.	Noulet d'une sphère contre un pan de bois vertical.....	45
2.	» entre une sphère et un comble plan.....	46
3.	» entre un toit plan et un toit conique.....	47
4.	» en impériale.....	47

III. *Noulets entre combles à surfaces courbes.*

1.	Noulet entre une surface sphérique et une surface cylindrique.....	49
2.	» entre une voûte sphérique et un toit conique.....	52
3.	» d'une voûte cylindrique sur un toit conique.....	53
4.	» d'un toit conique contre une tour cylindrique.....	55
5.	» entre deux toits coniques convexes.....	55
6.	» entre un toit conique convexe et un toit conique concave.....	56
7.	» entre deux toits en impériale.....	57
8.	» entre un comble droit en impériale et un comble en impériale circulaire.....	58
9.	Arêtiers, noues et noulets résultant de la combinaison de divers combles.....	59

CHAPITRE XIX.

DU GAUCHE DANS LES COMBLES.

Du gauche dans les combles.....	63
---------------------------------	----

CHAPITRE XX.

OUVERTURES DANS LES COMBLES ET DANS LES VOÛTES.

Ouvertures dans les combles et dans les voûtes.....	67
---	----

I. *Lingoirs.*

1.	Lingoirs en toits plans.....	67
2.	» en toits cylindriques.....	68

§ 3.	Linçoirs en combles sphériques.....	69
§ 4.	» en toits coniques.....	69

II. *Lucarnes.*III. *Lunettes.*

§ 1.	Diverses combinaisons de lunettes.....	72
§ 2.	Épure détaillée d'une lunette.....	77

CHAPITRE XXI.

CROIX DE SAINT-ANDRÉ EMPLOYÉES DANS LES COMBLES.

Croix de Saint-André employées dans les combles.....	91
--	----

I. *Croix de Saint-André dans les combles plans.*

§ 1.	Croix de Saint-André droites.....	91
§ 2.	» biaises.....	91

II. *Croix de Saint-André dans les combles courbes.*

§ 1.	Croix de Saint-André dans un comble cylindrique.....	93
§ 2.	» dans une coupole sphérique.....	94
§ 3.	» dans les combles coniques.....	95
§ 4.	» en spirale sur un toit conique.....	97
Note.	Moyenne proportionnelle.....	98

CHAPITRE XXII.

GUITARES ET TROMPES.

Guitares et trompes.....	101
--------------------------	-----

I. *Guitares.*

§ 1.	Guitares droites.....	101
§ 2.	Liens guitares à surfaces gauches.....	102
§ 3.	» par sections horizontales.....	103
§ 4.	Guitare conoïdale.....	104
§ 5.	» plane.....	104
§ 6.	» biaise doublement rampante.....	104
§ 7.	» ronde biaise doublement rampante.....	105
§ 8.	» sur tour ronde.....	105

II. *Trompes.*

§ 1.	Trompe sur une tour ronde.....	106
§ 2.	» sur l'angle.....	107
§ 3.	» conique.....	108

CHAPITRE XXIII.

DIVERS SYSTÈMES DE CONSTRUCTIONS DE COMBLES EN CHARPENTE.

Divers systèmes de constructions de combles en charpente.....	110
---	-----

I. *Combles romains.*

§ 1.	Basilique de Saint-Pierre.....	110
§ 2.	Saint-Paul hors des murs.....	111

§ 3. Sainte-Sabine	112
§ 4. Théâtre d'Argentine	113

II. Combles modernes.

§ 1. Charpentes en bois droits	113
§ 2. Système de Styerne	113
§ 3. Charpente du comble des réformés, à Strasbourg	115
§ 4. Comble du manège de Copenhague	115
§ 5. Charpente du comble de l'Hôtel-Dieu de Rouen	116
§ 6. Charpentes tirées de l'ouvrage de Krafft	116
§ 7. Théâtre italien de Paris	116
§ 8. Hangar de la Râpée	117
§ 9. » de M. Eyrère	117
§ 10. Bâtiment de filature	117
§ 11. Hangar du Helder	118
§ 12. » de Leipzig	118
§ 13. Magasin aux vivres du Helder	119
§ 14. Hangar construit en Suisse	119
§ 15. Grande halle de la fonderie de Romilly	119
§ 16. Magasin aux fourrages de la Râpée	122
§ 17. Manutention des vivres militaires, à Paris	122

III. Fermes sans tirants.

§ 1. Système de M. Ried	123
§ 2. Hangar de filature	123
§ 3. Comble conique de Saint-Domingue	124

IV. Combles en bois ronds refendus.

Bergerie de Grignon	124
---------------------------	-----

V. Petites Fermes.

§ 1. Toit simple	126
§ 2. Fermes portant cintres	126
§ 3. Toit à deux égouts en contre-pente	127
§ 4. Petits toits cylindriques	127

VI. Fermes en maçonnerie.

VII. Fermes en bois couchés.

§ 1. Constructions russes	129
§ 2. Maison suisse	129

VIII. Charpente chinoise.

IX. Auvents.

§ 1. Petits auvents	131
§ 2. Grands auvents	132

CHAPITRE XXIV.

COMBLES A GRANDES PORTÉES.

	Combles à grandes portées.....	133
1.	Salle d'exercice de Darmstadt.....	133
2.	Manège de Lunéville.....	135
3.	» de Moscou.....	136
4.	Salle d'exercice de Moscou.....	137

CHAPITRE XXV.

CHARPENTES DU MOYEN AGE.

	Charpentes du moyen âge.....	143
1.	Couvent des Prêcheresses, à Metz.....	143
2.	Salle des États de Blois.....	144
3.	» des Pas Perlus du Palais, à Rouen.....	145
4.	Grange de Meslay, près Tours.....	146
5.	Projets de Mathurin Jousse.....	147
6.	Charpente arabe.....	147

CHAPITRE XXVI.

CHARPENTES A PENDENTIFS.

	Charpentes à pendentifs.....	149
--	------------------------------	-----

I. *Charpentes anglaises.*

1.	Westminster hall.....	149
2.	Hampton court Palace.....	152
3.	Comble de Crosby hall.....	154
4.	Chambre de Conseil du palais de Crosby.....	156
5.	Plafond de la chambre dorée du palais de justice, à Paris.....	157

CHAPITRE XXVII.

SYSTÈME EN PLANCHES DE CHAMP.

	Système en planches de champ.....	160
--	-----------------------------------	-----

I. *Invention de Philibert Delorme.*

1.	Anciennes charpentes en planches.....	160
2.	Systèmes de Philibert Delorme. — Combles en boiseries.....	162
3.	Combles en tiers point ou ogive.....	163
4.	Croupe droite.....	164
5.	Comble du château de la Muette.....	166
6.	Rond point.....	168
7.	Projet d'une basilique.....	170
8.	» d'un dôme.....	170
9.	Poutres.....	171

II. *Applications modernes.*

1.	Coupole de la halle aux blés de Paris.....	173
2.	Hangars et manèges.....	176

3.	Comble du salon de l'hôtel de la Légion d'honneur.....	177
4.	» de l'église de Saint-Philippe du Roule, à Paris.....	177
5.	Coupoles des petites écuries, à Versailles.....	179
6.	Grange hollandaise.....	180
7.	Cale couverte de Rochefort.....	181
8.	» de Lorient.....	181
9.	Petite charpente hollandaise.....	182
10.	Assemblages divers.....	183

CHAPITRE XXVIII.

SYSTÈME DE M. LACASE.

Système de M. Lacase.....	186
---------------------------	-----

CHAPITRE XXIX.

CHARPENTE EN BOIS PLATS.

Charpente en bois plats.....	189
1. Petite ferme sur tirant.....	190
2. Hangar des messageries, rue du Bouloy.....	190
3. Bâtiment de filature, à Rouen.....	190
4. Ferme hollandaise.....	191
5. Hangar, rue Hauteville, à Paris.....	191
6. » rue Saint-Denis.....	191
7. Manège de Chambière.....	191
8. Salle du Corps législatif, à Paris.....	192

CHAPITRE XXX.

CINTRES EN MADRIERS COURBÉS SUR LEUR PLAT.

Cintres en madriers courbés sur leur plat.....	194
1. Charpente du hangar du génie, à Marac, près Bayonne.....	197
2. » du manège de la caserne de Libourne.....	206
3. Comparaison avec d'autres charpentes.....	210
4. Projet d'un comble de 40 mètres de portée.....	213
5. » d'un comble de 100 mètres de portée.....	216
Note au sujet d'un moyen d'annuler la poussée des charpentes.....	217
6. Application aux dômes et coupoles.....	218
7. Petits combles.....	218
8. Charpente anglaise d'après le système des madriers courbés sur leur plat.....	219
9. Planchers.....	220

CHAPITRE XXXI.

SYSTÈME DE M. L. LAVES.

Système de M. L. Laves.....	222
-----------------------------	-----

CHAPITRE XXXII.

DOMES, CLOCHERS, FLÈCHES ET BEFFROIS.

Dômes, clochers, flèches et beffrois.....	230
---	-----

I. *Dômes.*

1/2	1. Dôme de Mathurin Jousse	231
1/2	2. » de Fourneau	232
1/2	3. » de Styerme	232
1/2	4. » des Invalides	234
	<i>Note.</i> Comparaison du dôme des Invalides avec celui della Salute	235
1/2	5. Petits dômes	238

II. *Dômes tors.*

1/2	1. Dôme tors de N. Fourneau	239
1/2	2. Construction régulière d'un dôme tors	241
	<i>Note.</i> Instrument de Descartes pour les moyennes proportionnelles	242

III. *Donjons.*IV. *Clochers.*

1/2	1. Clochers à faces planes	245
1/2	2. Clocher brisé de Bâle	246
1/2	3. Clochers à renflements	246

V. *Flèches.*

1/2	1. Flèche droite de la sainte Chapelle	247
1/2	2. Flèche tors de Gaillon	247

VI. *Beffrois.*

CHAPITRE XXXIII.

EMPLOI DES FERRURES DANS LES CHARPENTES.

	Emploi des ferrures dans les charpentes	254
--	---	-----

I. *Fers employés pour fixer ou pour lier des pièces de bois.*

1/2	1. Clous	254
1/2	2. Vis	256
1/2	3. Clameaux	258
1/2	4. Boulons	259
1/2	5. Frettes	265
1/2	6. Liens	267
1/2	7. Scellements	268

II. *Fers employés pour consolider les assemblages.*

1/2	1. Bandes de fer	269
1/2	2. Étriers	269
1/2	3. Equerres	272

III. *Tirants.*

1/2	1. Joints pour bandes et barreaux	273
1/2	2. Chaines	274

IV. *Fer interposé dans les assemblages.*V. *Soutiens verticaux.*

CHAPITRE XXXIV.

EMPLOI DU FER DANS LA COMPOSITION DES CHARPENTES EN BOIS.

	Emploi du fer dans la composition des charpentes en bois.....	278
1.	Charpentes des forges de Rosières.....	278
2.	» des docks de Liverpool.....	280
3.	Nouveau système de charpentes en bois et en fer, composé par l'auteur.....	281
4.	Poutres armées de fer.....	287
5.	Charpente suspendue.....	287
6.	Arcs en fer coulé.....	289

CHAPITRE XXXV.

ESCALIERS.

	Escaliers.....	290
--	----------------	-----

I. Définitions.

1.	Échelle de meunier.....	292
2.	Proportions des marches.....	295
	<i>Note</i> sur les proportions indiquées par Vitruve, Scamozzi et Blondel.....	295
	<i>Autre note</i> sur le même sujet.....	297
3.	Escalier dit à répétition.....	298

II. Escaliers anciens.

1.	Escalier en limaçon et à noyau.....	299
2.	Noyau à jour.....	299
3.	Escaliers à deux et à quatre noyaux.....	300

III. Escaliers modernes.

1.	Escalier à limon continu sans noyau.....	304
2.	Volute du limon et première marche.....	310
3.	Joint des limons.....	313
4.	Projection d'une courbe rampante.....	315
5.	Exécution de la courbe rampante.....	318
6.	Escalier à grand palier.....	324
7.	» à demi-palier.....	326

IV. Escaliers sans limon.

1.	Escaliers droits.....	328
2.	» circulaires.....	330

V. Diverses constructions d'escaliers.

1.	Escaliers sur noyaux.....	332
2.	» à limons contournés.....	333
3.	» sans limons.....	335
4.	» isolés.....	336

CHAPITRE XXXVI.

ÉTAIS.

	Étais	338
1.	Arcs-boutants	338
2.	Chevalements	340
3.	Étrésillons	342
4.	Pointaux	343
5.	Étaiemens des voûtes	343
6.	» pour la restauration du dôme du Panthéon, à Paris	344
7.	» pour travaux de déblais	346

CHAPITRE XXXVII.

ÉCHAFAUDS.

Échafauds	348
-----------------	-----

I. *Échafaud de maçon.*II. *Échafauds fixes.*

1.	Échafaud de Saint-Gervais	350
2.	» de la flèche de la cathédrale de Châlons	351
3.	Échafaudage du Panthéon de Paris	351

III. *Échafauds volants.*

1.	Échafaud volant du dôme de Saint-Pierre de Rome	353
2.	» pour petites voûtes	354
3.	» pour la charpente du hangar de Marac	354

IV. *Échafauds suspendus.*

1.	Échafaud pour ragrément de ponts	355
2.	» pour entablement	356
3.	» pour ateliers de décoration	356

V. *Échafauds roulants.*

1.	Échafaud de la nef de Saint-Pierre de Rome	357
2.	» roulant de l'Orangerie de Versailles	358
3.	» de la Chapelle de Turin	358
4.	» pour construction d'un comble suivant le système de Phil. Delorme	359
5.	» roulant de Saint-Sulpice	359
6.	» de la cathédrale de Milan	359
7.	» pour atelier de peinture	360

VI. *Échafauds tournants.*

1.	Échafaud tournant de la coupole du Panthéon de Rome	360
2.	» avec plancher mobile	363
3.	» mobile sur losange	364

CHAPITRE XXXVIII.

PONTS FIXES EN CHARPENTE.

Ponts fixes en charpente.....	365
<i>I. Ponts sur longerons, sur piles et palées.</i>	
1. Pont de Sublicius.....	368
2. » de César, sur le Rhin.....	369
3. » moderne.....	370
4. Détails de construction.....	370
5. Ponts dormants des places de guerre.....	372
6. Passerelles.....	373
7. Ponts sur longerons en bois ronds.....	373
8. » » moisés.....	373
9. » » croisés.....	374
<i>II. Ponts sur contre-fiches.</i>	
1. Pont de la Brenta, à Bassano.....	375
2. » avec contre-fiches et moises.....	376
3. » avec doubles moises et contre-fiches.....	376
4. Détails de construction d'un pont avec contre-fiches et moises.....	377
5. Exécution d'un pont.....	379
6. Pont de Kehl, sur le Rhin.....	381
7. » Lomet.....	382
8. Ponts des colonies russes ..	382
9. Pont de la Mulatière, à Lyon.....	383
10. » de Kingston.....	383
<i>III. Ponts avec armatures.</i>	
1. Pont de Palladio.....	385
2. » avec sous-longerons.....	385
3. » d'Orscha.....	385
4. » avec sous-longerons et moises.....	386
5. » » embrévés.....	386
6. » de Vendiport.....	386
7. Ponceaux de Prusse.....	386
8. Pont avec armature simple.....	387
9. » de Cismone.....	388
10. » de Vrach.....	389
11. Passerelles hollandaises.....	389
12. Pont de Savines.....	389
13. » couvert de Thionville, sur la Moselle.....	390
14. » du saut du Rhône.....	392
15. Système de Styerme.....	392
16. Pont de Zurich.....	393
17. » de Schaffhouse.....	394
18. » de Wittengen.....	396
19. » du sieur Clauss.....	398
20. Système de M. Town.....	399

IV. *Ponts avec armatures et contre-fiches.*

1.	Passerelles.....	401
2.	Pont de Palladio.....	401
3.	Autre pont de Palladio.....	401
4.	Pont de la Kandel, dans le canton de Berne.....	401
5.	Pont de M. Gauthey.....	402

V. *Ponts avec armatures et croix de Saint-André.*

1.	Pont de Palladio.....	402
2.	» de Saint-Clément, sur la Durance.....	403

VI. *Ponts suspendus à des cintres.*

1.	Pont de Custrin, en Prusse.....	404
2.	» de Feldkirch.....	405
3.	» de Mellingen.....	405
4.	» du Necker.....	406

VII. *Ponts portés sur des cintres en charpente.*

1.	Pont de Trajan.....	409
2.	» de Chazey.....	410
3.	» de M. Mignerou.....	410
4.	» d'Ivry.....	411
	Pont russe.....	416

VIII. *Système de Wiebeking.*

1.	Pont de Bamberg.....	419
2.	» de Scharding.....	421
3.	» d'Ettringen.....	422
4.	» d'Altenmarkt.....	424

IX. *Système de M. L. Laves.*X. *Ponts biais.*

1.	Pont biais construit avec des fermes droites et des moises transversales horizontales.....	428
2.	Système du viaduc biais d'Asnières.....	431

XI. *Ponts en bois ronds.*XII. *Brise-glace.*XIII. *Emploi du fer dans les ponts en charpente.*

1.	Pont de la Cité, à Paris.....	436
2.	» de M. Aubry.....	437
3.	Ponts à grandes portées de M. du Molard.....	438
4.	Contre-vents en fer du pont d'Ivry.....	439

XIV. *Ponts sur chevalets.*

CHAPITRE XXXIX.

PONTS MOBILES EN CHARPENTE.

Ponts mobiles en charpente..... 443

I. *Ponts levés.*

1.	Ponts-levis à flèches.....	443
2.	Pont-levis à engrenage.....	445
3.	» à tape-cul.....	446
4.	Petit pont-levis s'abattant dans le fossé.....	447
5.	Grand pont-levis s'abattant dans le fossé.....	447

II. *Ponts tournants.*

1.	Pont tournant des Tuileries.....	449
2.	» simple.....	451
3.	» double.....	452

III. *Ponts flottants.*

1.	Ponts sur bateaux.....	456
2.	» sur radeaux.....	460

CHAPITRE XL.

PONTS DE CORDAGES.

	Ponts de cordages.....	463
1.	Tarabites.....	463
2.	Pont de hamac.....	464
3.	» de cordages sur culées en charpente.....	464
4.	Petit pont de cordages.....	465
5.	Pont de corde sur chevalets.....	465
6.	» avec châssis en bois.....	466
7.	» de cordages militaire.....	466
8.	» de cordes suspendus à des mâts.....	467

CHAPITRE XLI.

CINTRES.

Cintres..... 469

I. *Cintres des anciens.*II. *Cintres modernes.*III. *Cintres mobiles ou flexibles.*

1.	Cintres du pont de Neuilly.....	473
2.	» du pont d'Orléans.....	475

IV. *Cintres fixes.*

1.	Cintre de la nef de Saint-Pierre de Rome.....	476
2.	» de M. Pitot.....	477
3.	Cintres du pont de Nemours.....	477
4.	» du Strand.....	477

V. *Cintres soutenus par des palées intermédiaires.*

1.	Cintres du pont de Moulins.....	478
2.	» de la Doria.....	478
3.	» de Chester.....	478
4.	» de Gloucester.....	478
5.	» de Briançon.....	479
6.	» d'Édimbourg.....	479

VI. *Cintres pour les petites voûtes.*

1.	Cintres pour petites voûtes en pierres de taille.....	479
2.	» pour voûte rampante.....	480
3.	» en planches de champ.....	480
4.	» pour portes et fenêtres.....	481
5.	» pour arceaux.....	481
6.	» du pont aux Fruits de Melun.....	481

VII. *Cintres pour coupoles.*

1.	Enrayure du dôme de Florence.....	481
2.	Cintres du dôme de Saint-Pierre de Rome.....	483
3.	Coupole du Panthéon de Rome.....	484
4.	Cintres du dôme du Panthéon de Paris.....	485
5.	» pour petites voûtes en cul-de-four.....	486

VIII. *Décintrement.*

1.	Ancien procédé pour décintrer.....	486
2.	Décintrement du pont de Nemours.....	487
3.	» du Strand.....	488

IX. *Emploi du fer dans les cintres.*

1.	Pont du Strand.....	489
2.	Cintre pour la construction d'un tunnel.....	490

CHAPITRE XLII.

CHARPENTERIE DE FONDATIONS.

	Charpenterie de fondations.....	491
1.	Grillage.....	493
2.	Fondations du pont de Neuilly.....	494
3.	» d'un mur de quai du port de la Rochelle.....	494
4.	Grillage double.....	495
5.	Recépage des pieux et fondation par caissons.....	496
6.	Fondation d'un mur de quai à Rouen.....	497
7.	Palplanches.....	498
8.	Palplanches inclinées.....	499

CHAPITRE XLIII.

CONSTRUCTIONS HYDRAULIQUES EN CHARPENTE.

Constructions hydrauliques en charpente.	501
§ 1. Batardeaux.	501
§ 2. Quais en charpente.	503
§ 3. Jetées ordinaires.	503
§ 4. Digue de M. de Cessart.	504
§ 5. » concave.	504
§ 6. Portes d'écluses.	505
§ 7. Combinaison du bois et du fer dans les portes d'écluses.	508
§ 8. Busc d'écluse.	508

CHAPITRE XLIV.

CHARPENTERIE DES TRAVAUX SOUTERRAINS.

Charpenterie des travaux souterrains.	510
---	-----

I. Mines.

§ 1. Procédés des mineurs du corps du génie.	511
§ 2. » employés dans les mines d'exploitation.	513

II. Étaiemens souterrains.

§ 1. Percement du canal de Bourgogne.	514
§ 2. » de la Medway.	515

CHAPITRE XLV.

CHARPENTERIE DE MARINE.

Charpenterie de marine.	516
---------------------------------	-----

I. Charpenterie navale.

§ 1. Système de construction.	516
§ 2. Épures et tracé à la salle.	519
§ 3. Construction sur la cale.	525
§ 4. Gabarits.	530

II. Charpenterie de bateaux.

CHAPITRE XLVI.

CHARPENTERIE DE MACHINES.

Charpenterie de machines.	536
-----------------------------------	-----

I. Transmission du mouvement de rotation entre des axes parallèles.

§ 1. Transmission par frottement.	536
§ 2. Engrenages droits par dents externes à faces et à flancs.	537
Génération de l'épicycloïde.	538
Tangente à l'épicycloïde.	538
Formes des dents.	538
§ 3. Engrenages intérieurs.	543
§ 4. Engrenage à lanternes.	544
§ 5. Engrenages multiples.	547
§ 6. Pylons.	548

II. *Transmission du mouvement entre deux axes qui se coupent.*

§	1. Transmission par frottement.....	549
§	2. Engrenage d'angle à dents avec faces et flancs.....	549
	Génération de l'épicycloïde sphérique.....	549
	Projection de l'épicycloïde sphérique.....	550
	Tangente à l'épicycloïde sphérique.....	551
	Formes des dents de l'engrenage conique.....	553
	Charpentes des roues.....	557
§	3. Engrenage d'angle avec dents sans flancs.....	558
	Génération de la développante sphérique du cercle.....	558
	Construction des dents.....	561
§	4. Engrenage d'angle avec une lanterne conique.....	562

III. *De la vis et de son écrou.*

§	1. Forme de la vis et de l'écrou.....	564
§	2. Exécution d'une vis.....	566
§	3. Construction d'un écrou.....	570
§	4. Vis sans fin.....	571

IV. *Transmission du mouvement de rotation au moyen d'une sphère.*

V. *Roues motrices.*

§	1. Roue hydraulique à palettes.....	575
§	2. » Poncelet.....	575
§	3. » à tambour.....	577
§	4. » à bras.....	578
§	5. Ailes de moulins à vent.....	578

VI. *Vis d'Archimède.*

CHAPITRE XLVII.

NŒUDS.

	Nœuds.....	582
§	1. Nœuds simples.....	584
§	2. » de jointure.....	585
§	3. Liens de bréclages.....	588
§	4. Raccourcissements.....	590
§	5. Amarrages sur arganeaux.....	591
§	6. » sur pieux.....	592
§	7. » de petits cordages.....	592
§	8. Bouts de cordages.....	593
§	9. Épissures.....	595
§	10. Ligatures.....	597

CHAPITRE XLVIII.

MACHINES EMPLOYÉES PAR LES CHARPENTIERIS.

	Machines employées par les charpentiers.....	598
--	--	-----

I. *Petites machines.*

§	1. Leviers.....	598
---	-----------------	-----

2. Poulies	599
3. Crics	600
4. Vérins	600
5. Chevrettes	601

II. Chèvres, treuils et cabestans.

1. Chèvre d'artillerie	602
2. Grandes chèvres	603
3. Treuils simples	603
4. » à gorge	604
5. Treuil chinois	606
6. Cabestans à vindas	607

III. Machines à battre les pilots.

1. Pieux et palplanches	608
2. Sonnettes à tiraudes	612
3. » à déclic à cheval	616
4. » à déclic simple	618
5. » à déclic à hélice	619
6. » inclinées	620
7. Moutons à mains	620

IV. Arrachement des pieux.

1. Sonnette arrache-pieux	621
2. Vérins arrache-pieux	623
3. Levier arrache-pieux	624

CHAPITRE XLIX.

MOUVEMENT DES FARDEAUX.

Mouvement des fardeaux	625
------------------------------	-----

I. Monuments de moyen poids.

1. Établissement d'un vase	625
2. Érection d'une statue	627
3. » équestre	628
4. Procédé pour donner quartier	629
5. Pierres du fronton du Louvre	629
6. Rocher de Saint-Petersbourg	630

II. Monolithes.

1. Obélisque du grand cirque, à Rome	632
2. » de Constantinople	632
3. » du Vatican	633
4. » de Saint-Jean-de-Latran	634
5. » d'Arles	634
6. » de Luxor	635

III. *Transport de bâtisses.*

1. Colonne Antonine.	639
2. Chapelle du Presepio	639
3. Transport de clochers.	639

CHAPITRE L.

CONSTRUCTIONS ACCESSOIRES.

Constructions accessoires	642
1. Mangeoires, râteliers et stalles pour chevaux.	642
2. Guérites	643
3. Portes et contrevents	643
4. Baraques pour logements de troupes.	644
5. Moutons de cloches.	644
6. Pavés en bois.	644

CHAPITRE LI.

DEVIS.

Devis.	646
1. Devis descriptif.	646
2. Analyse et bordereau des prix.	648
3. État estimatif.	649
4. État d'approvisionnement.	650
5. Marchés.	650
6. Attachements.	651
7. Vérification et réception.	651
8. Métrage.	652

CHAPITRE LII.

CUBAGE DES BOIS DE CHARPENTE.

Cubage des bois de charpente.	653
1. Unité de mesure	653
2. Cubage des bois équarris en solives.	656
3. » en grume	657
4. » métrique.	659

CHAPITRE LIII.

RÉSISTANCE DES BOIS.

Résistance des bois	660
-------------------------------	-----

I. *Expériences et formules.*

1. Résistance à l'écrasement.	660
2. " à la pression perpendiculaire à la direction des fibres	662
3. " à l'effort de traction dans le sens de la longueur des fibres.	663
4. " aux efforts de traction, perpendiculairement à la longueur des fibres	664
5. " à la rupture par flexion	665
6. " à la torsion	674

II. *Applications aux pièces de bois construites isolément.*

§	1. Résistance d'une pièce de bois horizontale chargée dans le milieu de sa longueur	675
§	2. Résistance d'une pièce de bois fixée horizontalement par un de ses bouts, et chargée sur l'autre bout	676
§	3. Résistance d'une pièce de bois horizontale scellée par ses deux extrémités dans des murs	677
§	4. Résistance d'une pièce de bois chargée dans un point quelconque de sa longueur	678
§	5. Résistance d'une pièce de bois chargée sur plusieurs points de sa longueur.	678
§	6. » dont la charge est distribuée sur sa longueur.	679
§	7. » cylindrique.	680
§	8. Pièce de la plus grande résistance	681
§	9. Résistance d'une pièce de bois inclinée	683
§	10. » des pièces courbes	683

III. *Applications aux charpentes.*

§	1. Pans de bois	684
§	2. Planchers	685
§	3. Des combles	686
§	4. Ponts	689
§	5. Arcs employés dans les fermes des ponts	690

IV. *Poussée des charpentes.*

§	1. Poussée des fermes en bois droits	691
§	2. » des cintres	693
§	3. » des arcs employés dans les fermes des combles	695

TABLE DES PLANCHES

NOTA. Les nombres entre parenthèses, qui accompagnent les numéros des figures sur les planches, indiquent les pages du texte auxquelles ces figures se rapportent.

Ceux des figures du Frontispice et des 59 premières planches, pour le tome I^{er}.

Ceux des figures de la planche 60 et des suivantes, jusqu'à la dernière, pour le tome II^c.

Frontispice. Fig. 1. Maison en bois de la rue du Gros-Horloge, à Rouen (1523).
Fig. 2. Hôtel Chambellan, rue des Forges, à Dijon (XIV^e siècle).

Planches.

1. Outils tranchants.
2. Équerres, niveaux et scies.
3. Rabots. Transport des bois.
4. Équarrissement des bois à la forêt.
5. Équarrissement des bois droits.
6. *Idem*.
7. Équarrissement des bois courbes; sciage des quartiers.
8. Sciage de long à la forêt.
9. Sciage de long dans les chantiers.
10. Sciage de long en Espagne.
11. Débit des bois.
12. Courbure des bois.
13. Emmagasinement et conservation des bois.
14. Assemblages simples à tenons et mortaises.
15. Assemblages à tenons et mortaises avec embrèvements.
16. Assemblage des bois ronds. — Assemblage anglais.
17. Assemblages divers.
18. Assemblage à queue d'hironde; assemblages d'angle.
19. Entures.
20. Entures et assemblages de bois croisés.
21. Entures. — Assemblages par juxtaposition. — Moises.
22. Entures. — Croix de Saint-André. — Assemblage des bois courbes. — Assemblages vicieux.

Planches.

23. Assemblages russes et suisses. — Assemblages de marine. — Assemblages par amollissement du bois.
24. Etclons. — Établissement des bois.
25. *Idem*.
26. *Idem*.
27. Piqué d'un assemblage à tenons et mortaises.
28. Façades de maisons en bois.
29. Façades de maisons. — Pans de bois intérieurs. — Cloisons.
30. Façades de maisons en bois.
31. Planchers et plafonds.
32. Ouvertures dans les planchers. — Lingoires et enchevêtrures.
33. Fig. 1. Plancher sur poutre dans une tour, à Rouen.
Fig. 3. Plancher de Serlio.
Fig. 2 et 4. Applications du système de Serlio.
Fig. 5, 6, 7, 8. Plancher d'une maison de plaisance du roi de Hollande.
Fig. 9, 10, 12, 13. Planchers et plafonds du Louvre, à Paris.
Fig. 11 et 14. Planchers en solives boiteuses.
Fig. 15 et 16. Détails de construction de planchers et de plafonds.
34. Fig. 1, 2, 3, 4. Planchers à compartiments.
Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10. Plancher d'un magasin à farine, à Corbeil.
Fig. 11, 12, 13 et 14. Planchers de M. Abeille et du père Truchet.
35. Fig. 1 et 2. Plancher polygonal du château de la reine Blanche, à Viarmes.

- | | |
|---|--|
| <p>Planches.</p> <p>Fig. 3 et 4. Planchers à enrayures, des châteaux de la reine Blanche, à Viarmes et à Moret.</p> <p>36. Fig. 1 et 2. Plancher polygonal du faubourg Saint-Denis, à Paris.</p> <p>Fig. 3 et 4. Planchers sans solives d'Amsterdam.</p> <p>Fig. 5, 6, 7, 11. Soffites.</p> <p>Fig. 8, 9, 10. Enchevêtrures et bandes de trémies.</p> <p>37. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13. Poutres et armatures.</p> <p>Fig. 12. Entes.</p> <p>Fig. 14 et 15. Pans de bois sur soutes, des charpentiers Sevlinge et Mazet.</p> <p>38. Fig. 1, 2, 3, 4. Poutre de l'hôtel de ville d'Amsterdam.</p> <p>Fig. 5, 6, 7, 8. Poutre de l'hôtel de ville de Maestricht.</p> <p>Fig. 9, 10, 11, 12. Poutres armées, du Palais-Royal et du Louvre, à Paris.</p> <p>39. Fig. 1, 2, 3, 4. Ferme pour servir de poutre.</p> <p>Fig. 5. Poutre d'assemblage à endents.</p> <p>Fig. 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 17. Armature de poutres.</p> <p>Fig. 10, 11, 12, 13. Entes de pièces de bois minces.</p> <p>40. Couvertures.</p> <p>41. Pentés des toits, et composition des fermes pour combles à deux égouts.</p> <p>42. Fig. 1, 2, 3, 4, 5. Fermes pour combles à deux égouts.</p> <p>Fig. 6, 7, 8, 9, 11. Fermes pour combles à la Mansard.</p> <p>43. Fig. 1. Ferme à la Mansard, portant cintre pour une galerie.</p> <p>Fig. 2, 5, 7. Profils de combles d'Asie et d'Afrique.</p> <p>Fig. 6, 8. Ferme formant mur de refend.</p> <p>Fig. 9. Ferme en impériale.</p> <p>Fig. 10. Comble en pente douce.</p> <p>Fig. 11. Comble cylindrique.</p> <p>44. Croupes droites; projections générales.</p> <p>45. Croupes biaises; projections générales.</p> <p>46. Noues droites, et 1^{er} cas des noues biaises; projections générales.</p> <p>47. Cinq-épis.</p> <p>48. Épure d'une croupe droite.</p> <p>49. Épure d'une croupe biaise, 1^{er} cas.</p> | <p>Planches.</p> <p>50. Épures de deux croupes biaises, 2^e et 3^e cas.</p> <p>51. Épure des noues droites. 2^e cas des noues biaises; projections générales.</p> <p>52. Épure des noues biaises.</p> <p>53. Épure des arêtiers et des noues déladés.</p> <p>54. Épure des pannes et tasseaux sur arêtiers de croupes droites.</p> <p>55. Épure des pannes et tasseaux sur noues droites.</p> <p>56. Ételons pour croupe et noues.</p> <p>57. Établissement des bois sur ligne pour fermes et pour un plancher polygonal.</p> <p>58. Herse pour pan de croupe et longs pans, arêtiers droits, et noues droites.</p> <p>59. Herse pour pan de croupe et longs pans, arêtiers biais, et noues biaises.</p> <p>60. Épure d'une croupe et des noues d'un comble cylindrique extérieurement.</p> <p>61. Épure d'une croupe et des noues d'un comble cylindrique intérieurement.</p> <p>62. Épure d'un comble et impériale extérieurement, et cylindrique intérieurement.</p> <p>63. Épure d'une voûte d'arête et d'une voûte en arc de cloître; voûte annulaire et voûte conoïdale.</p> <p>64. Épure d'un noulet d'arête sur comble plan.</p> <p>65. Épure d'un noulet de pannes.</p> <p>66. Épure d'un noulet biais; noulets de lucarnes.</p> <p>67. Épure d'un noulet en impériale sur comble plan.</p> <p>68. Épures des noulets pour pans coupés des bâtiments.</p> <p>69. Construction d'un dôme sphérique; noulets plans.</p> <p>70. Noulet cylindrique et conique sur comble sphérique.</p> <p>71. Construction des combles coniques; noulets cylindriques.</p> <p>72. Noulets plans et coniques sur combles coniques.</p> <p>73. Noulet en impériale sur comble en impériale circulaire.</p> <p>74. Voûtes ellipsoïdales en charpente.</p> <p>75. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 13. Distribution et tracé des caissons dans les voûtes en charpente et en maçonnerie.</p> |
|---|--|

Planches.

76. Diverses combinaisons de combles.
 77. Linçoirs dans les combles.
 78. Lucarnes.
 79. Lunettes. Croix de Saint-André dans les combles courbes.
 80. Fig. 1, 2, 3, 11, 12, 13, 14, 15. Guitares. Fig. 4, 5, 7, 8, 9, 10. Comble conique surmonté de deux flèches. Fig. 6. Épure d'une lunette conique biaise rampante dans un dôme sphérique.
 81. Fig. 4, 5, 8. Suite de l'épure de la lunette conique. Fig. 1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11. Croix de Saint-André dans les combles coniques.
 82. Guitares et trompes.
 83. Fermes du comble de Saint-Paul hors des murs, à Rome.
 84. Fig. 1. Ferme de l'ancienne basilique de Saint-Pierre, à Rome. Fig. 2. Ferme du théâtre d'Argentine, à Rome. Fig. 3 et 7. Système de Styerme. (Voyez pl. 85.) Fig. 4. Ferme à trois poinçons. Fig. 5. Ferme de Sainte-Sabine, à Rome. Fig. 6. Systèmes des fermes modernes.
 85. Fig. 1. Ferme sans tirant. Fig. 2, 7. Petites fermes cylindriques. Fig. 4. Petite ferme en impériale. Fig. 3, 9. Ferme d'un hangar de la rue Hauteville, à Paris. Fig. 5. Ferme en bois plat sur tirant. Fig. 6, 10. Système de Styerme. (Voyez pl. 84.) Fig. 8. Hangar de Leipzig.
 86. Fig. 1, 5. Système de M. Ried. Fig. 2. Ferme de Krafft. Fig. 3. Charpente chinoise. Fig. 4, 7. Hangar pour filature. Fig. 6, 8, 9. Fermes russes. Fig. 10. Ferme portant cintre.
 87. Fig. 1. Ferme du théâtre Italien, à Paris (brûlé en 1839). Fig. 2. Ferme tirée de l'ouvrage de Krafft. Fig. 3. Ferme d'un toit à deux égouts en contre-pente. Fig. 4. Ferme d'un hangar au Helder. Fig. 5, 8, 9. Fermes pour moyens toits à deux égouts.

Planches.

- Fig. 6, 7. Ferme d'un hangar à la Râpée, à Paris.
 Fig. 8, 9. Fermes pour petits toits.
 88. Fig. 1. Bâtiment de filature, à Rouen. Fig. 2, 4, 6. Fermes portant cintres. Fig. 3. Hangar suisse. Fig. 5. Bâtiment pour filature. Fig. 7. Magasin aux vivres du Helder.
 89. Charpente d'une des halles des fonderies de Romilly.
 90. Fig. 1, 2, 3. Comble du manège de Lunéville. Fig. 4, 5. Magasin aux fourrages de la Râpée, à Paris.
 91. Fig. 1, 5. Coupole du salon de l'hôtel de la chancellerie de la Légion d'honneur. Fig. 2, 4. Comble du temple des Réformés à Strasbourg. Fig. 6, 8. Comble de la manutention des vivres, quai de Billy, à Paris. Fig. 3, 7. Comble conique de Saint-Domingue.
 92. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8. Salle d'exercice de Darmstadt. Fig. 7. Manège de Copenhague.
 93. Projet d'une salle de manœuvre pour Moscou.
 94. Salle d'exercice construite à Moscou.
 95. Fig. 1, 2. Comble de la salle des Perdus du palais de Justice de Rouen (construit en 1493). Fig. 4, 5. Comble du couvent des Prêcheresses, à Metz (1278). Fig. 3. Ferme en planches exécutée en Hollande. Fig. 6, 7. Projets de fermes de M. Jousse.
 96. Salle des États de Blois (XIII^e siècle).
 97. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6. Nouvelles armatures de poutres. Fig. 7, 8, 9. Grange de Meslay. Fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15. Système de M. Laves.
 98. Fig. 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12. Comble de l'église de Saint-Philippe du Roule, à Paris. Fig. 5, 6. Bergerie de Grignon. Fig. 7, 8. Fermes en maçonnerie. Fig. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19. Maison suisse.
 99. Fig. 1, 2, 3, 4. Ferme anglaise imitée

- | Planches. | Planches. |
|--|---|
| | 109. Comble du manège de la caserne de Libourne, avec arcs en madriers courbés sur leur plat. |
| 99. Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10. Plafond de la chambre dorée du palais de Justice, à Paris. | 110. Charpentes à grandes portées en madriers courbés sur leur plat, et détails. |
| Fig. 11, 12, 13. Charpente mauresque. | 111. Fig. 1, 2, 3, 4, 9. Donjon de l'île d'Aix. |
| 100. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 17. Charpente du comble de Westminster-Hall, à Londres. | Fig. 5, 7, 8. Petit donjon ou impériale. |
| Fig. 11, 12, 13, 14, 15, 16. Charpente du comble de Hampton-Court palace. | Fig. 6, 10, 11. Petit dôme sphérique. |
| 101. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8. Charpente du comble de Crosby-Hall, à Londres. | Fig. 12. Dôme de Mathurin Jousse. |
| Fig. 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14. Charpente du plafond de la salle du Conseil. | Fig. 13. Dôme de Nicolas Fourneau. |
| 102. Système de Philibert Delorme. | Fig. 14. Donjon à cinq flèches. |
| 103. <i>Idem.</i> Projet d'un dôme. | 112. Fig. 1, 2, 3, 4, 5. Dôme de Styermé. |
| 104. Coupole de la halle au blé de Paris. | Fig. 6. Flèche de la Sainte-Chapelle, de Paris. |
| 105. Fig. 1, 2, 3, 4, 5. Charpente de granges et manèges en planches de champ. | 113. Dôme de l'hôtel royal des Invalides. |
| Fig. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13. Système de M. Lacase. | 114. Fig. 1, 2, 19. Beffroi. |
| Fig. 12, 14, 15, 16. Toits en planches courbées sur leur plat. | Fig. 3, 4, 5, 6. Instrument de Descartes pour les moyennes proportionnelles. |
| 106. Fig. 1, 2, 3, 4. Cale couverte de Rochefort. | Fig. 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 22, 23. Flèches torsées. |
| Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10. Cale couverte de Lorient. | Fig. 9, 18, 20, 21. Dômes tors. |
| Fig. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. Emploi du fer dans les fermes. | 115. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13, 21, 22. Clochers à surfaces planes. |
| Fig. 18, 19, 20. Fermes des docks de Liverpool. | Fig. 8, 9, 10, 11, 16. Clochers à renforcements. |
| Fig. 21. Ferme de C. Polonceau. | Fig. 14, 15, 17, 18, 19, 20. Clocher brisé de Bâle. |
| Fig. 22. Ferme funiculaire de MM. Aubrun et Herr. | 116. Ferrures employées dans les charpentes. |
| Fig. 23, 24, 25. Armatures en fer pour les poutres. | 117. Charpentes des forges de Rosières. |
| Fig. 26. Armatures en fer pour les mâts. | 118. Nouveau système de charpentes en bois et en fer. |
| 107. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Charpente en bois plats de la salle du conseil des Cinq-Cents, à Paris. | 119. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 21, 22. Détails de construction d'escaliers. |
| Fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15. Hangar des messageries, rue du Bouloy, à Paris. | Fig. 13, 14. Escalier ancien sur deux noyaux. |
| 108. Comble du hangar de Marac, près Bayonne, avec arcs en madriers courbés sur leur plat. | Fig. 15, 16, 17. Escalier sur noyau à jour. |
| | Fig. 18, 19, 20. Escalier à répétition. |
| | Fig. 10, 11, 23, 24, 25, 26, 27, 28. Escaliers sans limon. |
| | Fig. 29. Escalier tournant sur noyaux. |
| | 120. Epure d'un escalier avec limon. |
| | 121. Fig. 1, 5, 6, 11, 12, 13, 21, 23, 24. Détails de constructions d'escaliers. |

Planches.

121. Fig. 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19. Epure et coupe de la courbe rampante.
Fig. 22, 25, 26, 27, 28, 29. Raccordement des limons droits par des courbes rampantes.
122. Diverses formes d'escaliers.
123. Etais, échafaudages et auvents.
Fig. 1. Echafaud de maçon.
Fig. 2, 5, 6, 8. Auvents.
Fig. 3, 4. Echafaud pour ragrément de ponts.
Fig. 9, 10. Etayement de planchers.
Fig. 7, 11. Echafaud pour réparation de la flèche de Châlons.
Fig. 12, 13. Etayement de maisons.
124. Echafauds fixes et mobiles.
Fig. 1, 2. Echafaud de la façade de l'église Saint-Gervais, à Paris.
Fig. 3. Echafaud fixe pour atelier.
Fig. 4, 5, 6, 7. Echafaud mobile pour atelier.
Fig. 8, 9, 17, 18. Echafauds roulants.
Fig. 10, 11, 12. Echafaud pour construction de combles en charpente.
Fig. 13, 14. Echafaud roulant de la chapelle de Turin.
Fig. 15, 16. Echafaud roulant de l'Orangerie du château de Versailles.
125. Fig. 1, 2, 3, 4. Nœuds et échelles.
Fig. 5, 6, 9, 10, 11. Echafaud mobiles tournants.
Fig. 7, 8. Echafaud qui a servi à la construction du comble du hangar de Marac.
126. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 7. Echafaud pour la construction du dôme du Panthéon de Paris.
Fig. 6, 8. Etais du dôme du même monument.
127. Fig. 1, 2, 3. Echafaud du dôme de Saint-Pierre de Rome.
Fig. 4, 5, 6, 7. Divers petits échafauds.
Fig. 8, 10, 12. Echafaud mobile de la nef de Saint-Pierre de Rome.
Fig. 9, 11. Cintre du dôme de Saint-Pierre de Rome.
128. Echafaud mobile du Panthéon de Rome.

Planches.

129. Fig. 1, 2. Etude d'un pont sur longerons.
Fig. 3, 10, 11, 12, 13. Passerelles.
Fig. 4, 5, 8. Pont de César.
Fig. 6, 7, 9. Usage des clameaux.
130. Etude d'un pont sur longerons avec contre-fiches et moises pendantes.
131. Fig. 1, 2, 3, 4. Ponts de Styerme.
Fig. 5, 7, 8, 9. Passerelles hollandaises.
Fig. 11. Pont de Vrach.
Fig. 12. Pont de Cismone.
Fig. 6, 10. Pont du Neckar.
132. Fig. 1, 2, 3, 4, 7. Pont biais avec moises transversales horizontales.
Fig. 5, 6. Pont de Kehl sur le Rhin.
133. Fig. 1, 4, 5, 6, 7. Pont biais d'Asnières (viaduc du chemin de fer).
Fig. 2, 3, 8, 9, 10, 11. Pont d'Ivry.
134. Fig. 1, 2, 3, 4. Pont de Wittengen.
Fig. 5, 6, 7, 8. Pont du sieur Claus.
135. Fig. 1, 2, 3, 4. Pont de Mellingen.
Fig. 6, 7. Pont de M. Mignerou.
136. Fig. 1, 4, 5. Pont de Scharding, sur la Rott, par M. Wiebeking.
Fig. 3, 7, 14. Pont de la Méhaga, en Russie.
Fig. 6. Pile de pont en bois ronds couchés.
Fig. 8, 9, 13, 18. Pont de M. Town, viaduc d'un chemin de fer en Amérique.
Fig. 10, 15, 16, 17. Ponts des colonies russes.
Fig. 11, 12. Pont de Custring.
Fig. 19, 22. Pont d'Orscha.
Fig. 20, 21. Ponceau de Prusse.
Fig. 2, 23. Pont de Savines.
Fig. 24. Pont de Vendipont.
Fig. 10. Cintre du pont de Moulins, sur l'Allier.
Fig. 11. Cintre du pont de Nemours.
Fig. 12. Cintre du pont de Strand, à Londres.
137. Fig. 1, 2. Pont de Sublicius.
Fig. 3, 4, 6. Passerelles.
Fig. 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16. Ponts de Palladio.
Fig. 5, 12. Pont Saint-Clément, sur la Durance.
Fig. 13. Pont de Thionville.
Fig. 14. Pont de Trajan.

Planches.

137. Fig. 17, 18, 25. Ponts sur longerons croisés.
 Fig. 19, 20. Ponts en madriers de champ.
 Fig. 21, 22. Pont de la Brenta, à Bassano.
 Fig. 23. Pont de Feldkirch.
 Fig. 24. Pont de la Kandel.
 Fig. 26. Pont de Zurich.
 Fig. 27, 31, 34. Pont de M. Laves.
 Fig. 28. Pont de Kingston.
 Fig. 29. Pont de la Mulatière, à Lyon.
 Fig. 30. Pont du saut du Rhône.
 Fig. 32, 34. Pont de Schallhouse.
 Fig. 33. Pont de M. Gauthey.
 Fig. 36. Pont de Bamberg, par Wiebeking.
 Fig. 37, 38. Ponts sur palées.
 Fig. 39, 40, 41, 42. Ponts avec contre-fiches.
 Fig. 43, 44, 45. Brise-glaces.
138. Fig. 1, 2, 3, 4. Pont dormant et pont-levis à flèches.
 Fig. 5, 6. Pont-levis à engrenage.
 Fig. 7, 8. Pont-levis à tape-cul.
 Fig. 9, 10. Pont-levis s'abaissant dans le fossé.
 Fig. 11, 12. Pont dormant de la porte Saint-Nicolas, à la Rochelle.
 Fig. 13, 14. Petit pont-levis s'abaissant dans le fossé.
 Fig. 15. Système de pont du sieur Genneté.
 Fig. 16, 17, 18. Pont surchevalets.
 Fig. 19. Nouvelle roulette pour mouvement circulaire.
139. Fig. 1, 5, 6, 7, 8. Pont tournant des Tuileries.
 Fig. 2, 3, 4, 11, 12. Pont tournant double.
 Fig. 10, 13, 14. Pont tournant simple.
 Fig. 9, 15, 16, 17, 18. Ponts flottants.
140. Ponts de cordes.
141. Fig. 1, 10, 11, 16. Cintre du pont de Neuilly.
 Fig. 2, 3, 4, 14, 15. Petits cintres.
 Fig. 5, 12. Cintre du pont d'Orléans.
 Fig. 6, 8. Cintre pour voûtes en plein cintre.
 Fig. 7, 18. Cintres de M. Pitot.

Planches.

- Fig. 9. Cintre pour voûte rampante.
 Fig. 13. Cintre de la nef de Saint-Pierre de Rome.
 Fig. 17. Cintre du pont aux Fruits, de Melun.
142. Fig. 1. Cintre du pont de Chester.
 Fig. 2. Cintre du pont de Celsius.
 Fig. 3. Cintre du pont du Gard.
 Fig. 4. Système des cintres du pont de Neuilly appliqué à une arche en plein cintre.
 Fig. 5. Cintre du pont de Gloucester.
 Fig. 6. Cintre du pont de Briançon.
 Fig. 7. Cintre du pont d'Édimbourg.
 Fig. 8, 9. Cintre du pont de la Doris.
 Fig. 10. Cintre du pont de Moulins, sur l'Allier.
 Fig. 11. Cintre du pont de Nemours, sur le Loing.
 Fig. 12. Cintre du pont du Strand, à Londres.
143. Fig. 1, 2. Ancien pont de la Cité, à Paris.
 Fig. 3, 5. Ponts à grandes portées de M. le vicomte Barrès du Moillard.
 Fig. 6. Pont de M. Aubry.
 Fig. 7, 8, 9, 15, 16. Mines militaires.
 Fig. 10, 11, 13, 14. Mines d'exploitation.
 Fig. 3, 12. Percement de tunnels.
144. Fig. 1. Fondation d'un mur de quai, à Rouen.
 Fig. 2, 3. Fondations d'un mur de quai, à la Rochelle.
 Fig. 4, 5. Fondations du pont de Neuilly.
 Fig. 6, 7. Fondations sur pilots et grillages.
 Fig. 8, 9. Fondations de la tour de la Chaîne, à l'entrée du port de la Rochelle.
 Fig. 10, 11. Quai en charpente.
 Fig. 12. Palplanches inclinées.
 Fig. 13, 14, 15, 16, 17, 18. Palplanches droites.
145. Fig. 1, 2. Jetée en charpente.
 Fig. 3, 7. Batardeaux.
 Fig. 4, 5, 6, 13, 15, 16, 17, 18, 19. Portes d'écluses.

Planches.

145. Fig. 14. Digue en charpente de M. Cessart.
Fig. 17. Digue en charpente à profil concave.
146. Fig. 1. Élévation d'un vaisseau.
Fig. 3. Coupe en travers d'un vaisseau.
Fig. 2, 4, 5, 7. Tracé à la salle.
Fig. 6. Gabarit.
Fig. 8, 9, 10. Charpenterie de bateaux.
147. Fig. 1, 2, 3. Construction des roues dentées en charpente.
Fig. 4, 5, 6, 7. Tracé des engrenages avec dents à faces et à flancs.
Fig. 8. Engrenages à lanterne.
Fig. 9, 10, 13. Engrenages multiples.
Fig. 11, 12. Engrenages avec dents sans flancs.
Fig. 14, 15. Pignons.
148. Fig. 1. Transmission par frottement entre axes parallèles.
Fig. 3, 6, 17. Transmission par frottement entre axes qui se coupent.
Fig. 4, 5, 8, 11, 13, 14, 15, 16. Construction de roues pour engrenages d'angles, avec dents à faces et à flancs.
Fig. 7, 12. Engrenage d'angle avec dents sans flancs.
Fig. 9. Tracé des flancs pour engrenage entre axes parallèles.
Fig. 2, 10. Epicycloïde sphérique pour les engrenages d'angles avec dents à faces et à flancs.
149. Fig. 1, 2. Vis sans fin.
Fig. 3, 5, 6, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24. Construction de la vis.
Fig. 4, 9. Développante sphérique du cercle pour les dents sans flancs.
Fig. 7, 13, 14. Engrenage d'angle avec lanterne.
Fig. 8, 22. Transmission de la rotation par une sphère.
150. Fig. 1, 2, 16. Roue Poncelet.
Fig. 3. Roue à bras.

Planches.

150. Fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 20, 21, 22. Vis d'Archimède.
Fig. 11, 12, 13, 14. Ailes de moulins à vent.
Fig. 15. Roue à palettes.
151. Nœuds de cordages.
152. *Idem.*
153. Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 29, 30. Sonnettes à tiraudes.
Fig. 9, 10, 11, 12, 32, 33. Moutons à bras.
Fig. 18, 24. Sonnette arrache-pieux.
Fig. 27, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41. Levier arrache-pieux.
Fig. 42, 43. Vérins arrache-pieux.
Fig. 14, 15, 39. Grande chèvre.
Fig. 44. Cabestans.
154. Fig. 1, 6, 8, 9, 17, 20, 22, 23, 24, 29, 30, 31. Sonnettes.
Fig. 2, 3, 4, 5, 7. Treuils.
Fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19. Détails relatifs aux pieux.
Fig. 18, 21. Chèvre.
Fig. 25, 26, 27, 28. Cabestans.
155. Fig. 1, 2. Cric.
Fig. 3, 9. Chevrette.
Fig. 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21. Nœuds.
Fig. 8, 10, 11. Mouvements des fardeaux; érection de statues.
156. Mouvements des fardeaux; érection d'obélisques.
157. Fig. 1, 20. Râteliers, mangeoires et stalles pour écuries.
Fig. 2, 3, 7, 8. Guérites.
Fig. 4, 5, 6. Mouton pour suspension de cloches.
Fig. 9, 10. Portes et volets ou contre-vents.
Fig. 11, 12, 13, 14. Pavés en bois.
Fig. 15, 25. Baraques pour logement de troupes.
Fig. 16, 17, 19, 20, 21. Force des bois.
Fig. 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30. Assistance et poussée des charpentes.

FIN DE LA TABLE DES PLANCHES.

