

GUIDE
DU
MÉCANICIEN CONSTRUCTEUR

ET CONDUCTEUR

DE
MACHINES LOCOMOTIVES,

PAR
MM. L. LE CHATELIER, E. FLACHAT, J. PETIET et C. POLONGEAU.

PARIS: — IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE DE PAUL DUPONT,
Rue de Grenelle-Saint-Honoré, 45.

— — — — —
Nouvelle Édition revue et augmentée.
— — — — —

TEXTE.



PARIS,

LIBRAIRIE ADMINISTRATIVE | **LIBRAIRIE INDUSTRIELLE**
DE PAUL DUPONT, | DE LACROIX ET BAUDRY,
Rue de Grenelle-Saint-Honoré, 45. | Quai Malaquais, 45.

1859.

Droits de traduction réservés.

INTRODUCTION.

Nous nous sommes proposé, en entreprenant la première édition de ce travail, de faire un livre utile aux praticiens que la nature de leurs travaux a rendus familiers avec le maniement des *machines locomotives*, la construction ou les réparations de leurs diverses parties, et utile également aux personnes qui, par la nature de leurs occupations, sont portées à se rendre compte de tous les détails de construction et de service des moteurs appliqués au transport sur les chemins de fer.

Nous avons dû tenir compte de l'insuffisance de notions théoriques qui existera nécessairement chez la plupart de nos lecteurs; à cet effet, nous nous sommes attachés, en premier lieu, à poser quelques principes généraux, et à en déduire, simplement et aussi clairement que possible, les conséquences, afin de mieux faire comprendre les explications que nous aurions à donner dans le cours de notre travail; pour cela nous nous sommes moins préoccupés de donner des démonstrations rigoureuses, que de rendre

*

facilement intelligibles les développements dans lesquels nous devons entrer, les appréciations auxquelles nous devons nous livrer dans la description des différentes parties d'une même machine, et dans la comparaison des différents modes de construction adoptés.

Nous avons donc réuni dans une première partie, sous le titre de *Notions préliminaires*, les notions de physique et de mécanique qui nous paraissent les plus indispensables, et nous avons indiqué les principes théoriques sur lesquels repose la construction de la machine locomotive; nous avons fait connaître la fonction des éléments de cette machine, à la fois si complète et si simple.

Dans une seconde partie, nous avons décrit, pièce par pièce, les machines qui peuvent servir de types aux principaux systèmes actuellement en usage; nous avons fait connaître le jeu relatif des différentes parties du mécanisme. — La troisième partie a pour objet la description du *tender*, annexe habituel de la machine locomotive, servant à porter le coke et l'eau pour la génération de la vapeur; elle comprend des détails sur divers types spéciaux de machines. — Le quatrième livre comprend l'examen de la machine en mouvement, les conditions de stabilité qu'elle doit présenter, des aperçus généraux sur le choix d'un système de construction pour chaque cas particulier que peut présenter l'exploitation des chemins de fer. — Nous avons réuni dans la cinquième partie tout ce qui concerne le service des machines et leur application au remorquage des trains, les règles à suivre pour assurer la régularité du service, le bon entretien du matériel et l'économie des dépenses. — Nous avons con-

sacré une partie notable de notre travail à traiter la question des ateliers de réparation, au point de vue de leur consistance, de leur organisation intérieure et des règles à suivre pour l'entretien du matériel. — Dans une dernière partie nous avons réuni divers faits d'exploitation; d'une part les résultats principaux du service des machines, parcours, consommation, frais de traction; d'autre part les accidents en service. Nous avons renoncé à reproduire divers résultats de recherches expérimentales qui ont perdu une partie de leur intérêt, et qui d'ailleurs se trouvent reproduites et complétées dans le grand ouvrage in-folio de Clarke. — En mentionnant les principales causes d'accidents, nous avons indiqué les mesures à prendre pour les prévenir ou en atténuer les conséquences.

Cet ouvrage, ainsi qu'on le reconnaîtra par l'exposé qui précède, a été destiné à remplir le même but que le *Guide du Mécanicien conducteur de machines locomotives*, que deux d'entre nous ont publié en 1840, et qui a servi de point de départ à notre première édition. Nous avons cherché, autant que nos occupations nous l'ont permis, à compléter notre premier travail, en y introduisant les modifications amenées par le progrès de chaque jour. — Nous avons refondu une partie des planches, et de nouveaux dessins ont été ajoutés à l'atlas.

Nous reproduisons ici les détails que nous avons déjà donnés sur l'historique de la locomotive.

L'invention des chemins de fer et leur application au transport de certaines matières, notamment de la houille et des minerais, remontent à une époque déjà assez re-

culée, mais leur application au transport rapide des personnes et des marchandises de toute nature est récente. — Nous ne nous occuperons pas de rechercher leur origine et les dates de leur application au transport; nous chercherons seulement à donner quelques détails circonstanciés sur l'histoire de la machine locomotive, qui est l'objet exclusif de notre publication, et, dans ce but, nous ferons connaître, dès à présent, par quelles phases a passé cette remarquable invention avant d'arriver au point où nous la prenons pour en faire la description.

L'application de la vapeur aux moteurs fixes, proposée dès 1680, de la manière la plus explicite, par Papin (1), et même, dans des conditions plus limitées, par Salomon de Caus, en 1615 (2), ne fut définitivement réalisée que par Newcomen, Cawley et Savery, dans les premières années du xviii^e siècle; ce n'est guère que cinquante années plus tard que l'on songea à substituer son action aux chevaux et autres animaux de trait, pour remorquer les véhicules sur les routes ordinaires; son application à la traction sur les chemins de fer ne remonte qu'au commencement du siècle actuel.

En 1759, le docteur Robison, qui fut plus tard professeur d'histoire naturelle à l'Université de Glasgow, et qui n'était alors que simple étudiant, émit l'idée que l'on

(1) Diverses pièces touchant quelques nouvelles machines par le docteur Papin. — Cassel, 1695. — Bibliothèque impériale de Paris, série V, volume no 2630.

(2) *Traité des forces mouvantes*, par S. de Caus, 1615, Paris.

pourrait employer la machine à vapeur pour mettre en mouvement les roues des véhicules.

Le premier ingénieur qui ait cherché à réaliser cette idée est un Français, Cugnot (Nicolas-Joseph), né en Lorraine, le 25 février 1725. En 1769, il construisit à Paris un chariot mis en mouvement par une machine à vapeur composée de deux cylindres à simple effet, verticaux et action directe, des deux côtés d'une trop petite chaudière sphérique en cuivre. Dans les premiers essais, cette machine ne put parcourir, en une heure, qu'un quart de lieue; de nouveaux essais, entrepris en 1770, donnèrent des résultats plus favorables; cependant l'inventeur n'ayant pas fourni le moyen de bien diriger sa machine, on ne donna pas suite à ces expériences; elle figure encore dans la collection du Conservatoire des Arts et Métiers.

Dès l'année 1772, à Philadelphie, Olivier Evans s'occupait de substituer des procédés mécaniques aux chevaux pour les transports sur les routes ordinaires, et en 1786 il sollicitait, des États de Pensylvanie, un privilège pour l'application de la vapeur aux moulins et aux véhicules; en 1804 il construisit la première voiture à vapeur qu'aient vue les États-Unis et la fit fonctionner dans les rues de Philadelphie.

En 1784, Watt prenait une patente en Angleterre pour l'application de la machine à vapeur aux voitures ordinaires.

En 1802, Tréviticke et Vivian, en Angleterre, émirent la même idée, et deux ans plus tard, en 1804, ils l'appliquèrent à la construction d'une machine qu'ils firent circuler sur le chemin de fer de Merthyr-Tydvil, rebûtés

qu'ils furent par les difficultés de toute nature que présentait son emploi sur les routes ordinaires.

La machine de Trévitic et Vivian n'avait qu'un seul cylindre placé horizontalement ; le piston transmettait son mouvement aux roues au moyen d'une bielle et de deux engrenages ; le cylindre avait 0^m 203 de diamètre et 1^m 37 de course. Avec cette machine ils purent remorquer un train de 10 tonnes, sur une longueur de 14 kilomètres et demi, et à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure, sans renouveler l'eau contenue dans la chaudière. L'opinion dominante alors était que l'on rencontrerait des difficultés insurmontables dans le défaut d'adhérence des roues sur la surface polie des rails, et cette opinion fut le principal obstacle à toute application ultérieure de cette machine ; les inventeurs eux-mêmes conseillaient de pratiquer sur la jante des roues des rainures transversales, des aspérités, de manière à leur donner plus de prise sur les rails ; ils allaient même jusqu'à proposer l'emploi de chevilles ou de griffes prenant leur point de résistance sur le sol. — Ces premiers essais ne donnèrent pas lieu à une application suivie de la vapeur au transport sur les chemins de fer, qui commençaient à se développer dès cette époque en Angleterre pour le service des mines de houille.

En 1811, Blenkinsop construisit, pour le chemin de fer de Middleton à Leeds, des machines locomotives à deux cylindres dans lesquelles les roues n'avaient plus d'autre fonction que de supporter l'appareil ; un des rails portait latéralement une crémaillère, sur laquelle engrenaient les dents d'une roue mise en mouvement par deux pignons, armés chacun d'une manivelle et mis chacun en mouve-

ment par une bielle rattachée au piston d'un cylindre vertical placé sur la chaudière. Les deux manivelles étaient placées à angle droit pour faciliter le passage des pistons au point mort. La chaudière, longue de 2^m 50, renfermait un tube intérieur qui servait de foyer et qui venait déboucher dans la cheminée. Ces machines ont servi, pendant plus de douze années, au transport de la houille.

En 1812, William et Edward Chapman substituèrent à la crémaillère une chaîne placée au milieu de la voie et passant sur une roue dentée, fixée à la machine et mise en mouvement par la vapeur ; ils proposèrent également l'emploi d'une machine à 8 roues, mises en mouvement par une série d'engrenages commandés par un pignon, en rapport avec un jeu de deux cylindres. Les essais entrepris sur le chemin de fer de Heaton n'eurent pas de suite.

En 1813, Brunton essaya d'employer, comme point d'appui sur le sol, un système de deux béquilles, ayant pour objet de remplir la même fonction que les jambes d'un cheval ; un accident arrivé à la chaudière, qui était en fonte, l'empêcha de faire un essai suivi.

À la même époque, Blakett, après de nombreux essais exécutés sur le chemin de fer de Wylam, démontra que le frottement ou l'adhérence des roues sur les rails fournissait un point d'appui suffisant ; et ce principe, combiné avec l'emploi des deux cylindres de Blenkinsop, devint la base du système de locomotion, qui a pris dans ces dernières années un développement si considérable. Cugnot avait bien employé deux cylindres dans son fardier à vapeur ; mais les deux cylindres étaient à simple

effet et le jeu des deux pistons était nécessairement alternatif; ils se trouvaient tous les deux à la fois à l'une des extrémités de leur course, tandis que, dans la machine de Blenkinsop, les deux manivelles étant calées sur un même axe, l'un des pistons était au milieu de sa course lorsque l'autre était à l'extrémité. Cette disposition assurait la mise en marche et la continuité du mouvement dans les petites vitesses. Ajoutons toutefois que le principe mécanique des manivelles croisées était déjà bien connu à cette époque.

George Stephenson construisit, pour la mine de houille de Killingworth, pendant l'année 1814, une machine à quatre roues, accouplées au moyen d'une chaîne sans fin enroulée sur deux roues dentées portées par le milieu de chaque essieu; un cylindre était placé verticalement, sur la chaudière, au-dessus de chaque essieu, et lui communiquait le mouvement au moyen de deux bielles verticales appliquées aux extrémités d'une traverse, comme dans la machine de Trévitic et Vivian; le jeu des deux pistons était croisé. Cette machine remorqua, sur une rampe de 0^m 002 par mètre, un poids de 30 tonnes 1/2, avec une vitesse de 6 kilomètres 1/2 à l'heure. La chaudière était cylindrique, avait 2^m 44 de long et 0^m 86 de diamètre; elle était traversée par un tube intérieur de 0^m 51 de diamètre contenant le foyer; les cylindres avaient 0^m 20 de diamètre et 0^m 61 de course.

En 1815, ils construisirent une nouvelle machine disposée sur le même principe, mais ayant, entre les deux essieux commandés directement par les cylindres, un troisième essieu lié aux deux autres par une chaîne sans

fin. La machine était suspendue sur les essieux au moyen de cylindres, renfermant chacun un piston solidaire avec la boîte à graisse, et pressé sur sa surface supérieure par l'eau de la chaudière; cette disposition avait pour effet d'amortir les chocs, et de faire jouer à la vapeur le rôle de ressort. Jusqu'en 1830, ces machines conservèrent une supériorité marquée sur toutes celles qui furent construites pendant la même période de temps, grâce aux améliorations que leur apporta leur auteur. L'essieu intermédiaire fut supprimé, la chaîne sans fin fut remplacée par une bielle d'accouplement extérieure; des ressorts en acier furent appliqués pour suspendre la chaudière et le mécanisme sur les essieux. Une pompe foulante, liée à l'une des traverses qui commandaient les bielles motrices, fut disposée pour renouveler l'eau de la chaudière, en la puisant dans une caisse placée sur un chariot d'approvisionnement. Les roues avec moyeux et rais en fonte étaient cerclées en fer, les tiroirs étaient commandés par des excentriques. Ces machines ainsi perfectionnées pesaient environ 10 tonnes avec leur approvisionnement et remorquaient un train de 30 tonnes, y compris le poids des wagons, à une vitesse de 10 kilomètres à l'heure. La tendance des constructeurs dut être naturellement d'augmenter la dimension des chaudières, mais on était bien vite arrivé à la limite de poids que comportait la faible dimension des rails alors employés.

En 1825, Hackworth, directeur du rail-way de Darlington, apporta une amélioration importante au mécanisme, en disposant les cylindres latéralement à la chaudière et en les faisant agir tous les deux sur le même

essieu, et en conservant les bielles d'accouplement extérieures pour renvoyer le mouvement à l'autre essieu et faire concourir l'adhérence de ses roues à la production du mouvement.

En 1827, cet ingénieur imagina, selon l'auteur anglais Clarke, l'échappement de vapeur dans la cheminée pour activer le tirage d'une machine de Stephenson, dite *Royal-George*, et pourvué, comme les autres de ce temps, d'une chaudière à carneaux et foyers intérieurs rappelant le type bien connu dit de Cornouailles. Cet échappement, qui n'avait peut-être pas sa raison d'être avec ce générateur, ne se répandit point.

Même, en dehors de ce perfectionnement que nous allons retrouver, la machine locomotivé était arrivée, en 1825, à un état de progrès très-satisfaisant comparative-ment au point de départ, mais la puissance était limitée par la dimension des chaudières qui ne pouvaient produire qu'une assez faible quantité de vapeur; il restait encore un pas considérable à franchir. Un ingénieur français, M. Séguin aîné, directeur du chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne, avait fait venir à cette époque des ateliers de Stephenson deux locomotives conformes aux précédentes; après de nombreuses observations et des expériences très-suivies sur les moyens propres à augmenter la puissance de vaporisation de ces machines, et par suite leur vitesse, il imagina de remplacer le bouilleur intérieur par un grand nombre de tubes de petit diamètre et d'une faible épaisseur; il augmenta ainsi, dans une proportion considérable, la surface de contact des gaz chauds, produits par la combustion, avec l'eau qui devait être réduite

en vapeur. Il ne suffisait pas d'augmenter la surface de chauffe, il fallait encore augmenter l'activité de la combustion, que le tirage naturel, dans une cheminée de dimensions forcément restreintes, laissait insuffisante; M. Séguin se servit d'un ventilateur mis en mouvement par le jeu de la machine elle-même, et qu'il plaça d'abord sous le foyer, puis dans la cheminée; il prit un brevet en France, le 20 décembre 1827, pour la réalisation de ces deux idées dont il fit lui-même l'application. Et enfin il échappa la vapeur dans la cheminée, sur la proposition de Pelletan, qui se fit breveter peu après, ignorant les tentatives analogues faites en Angleterre presque en même temps par Hackworth. Ce n'est que deux années plus tard, dans le concours ouvert sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, que R. Stephenson, fils de George, fit en Angleterre l'application du principe de l'échappement et des tubes à fumée, que M. Booth, trésorier de ce chemin de fer, avait imaginé et proposé de son côté.

L'emploi d'un jet de vapeur, pour produire un courant d'air, est, au reste, très-ancien; il a été indiqué par Vitruve, et, d'après lui, par Philibert de Lorme, qui s'exprime dans les termes suivants, au chapitre 8 du livre IX de son architecture: « *Autre remède et invention contre les fumées.* » — « Par une autre invention, il serait très-bon de prendre une pomme de cuivre ou deux, de la grosseur de 5 à 6 pouces de diamètre, ou plus qui voudra, et ayant fait un petit trou par le dessus, les remplir d'eau, puis les mettre dans la cheminée, à la hauteur de 4 ou 5 pieds ou environ, afin qu'elles se puissent échauffer quand la chaleur du foyer parviendra jusqu'à

« elles, et par l'évaporation de l'eau causera un tel vent « qu'il n'y a si grande fumée qui n'en soit chassée par le « dessus. Ladite chose aidera aussi à faire flamber et allumer le bois étant au feu, ainsi que Vitruve le montre au « sixième chapitre de son premier livre. » (Page 270 bis de 1597.)

Les premières notions exactes qui aient été fournies sur cette question sont dues à Mannoury-Dectot, qui a pris, le 14 août 1818 et le 21 août de la même année, des brevets d'invention et de perfectionnement pour divers moteurs, auxquels il appliquait les propriétés d'*entraînement*, qu'il avait constatées, dans un jet rapide d'un fluide quelconque, eau, air ou vapeur. Une de ces machines consistait dans une danaïde ou sorte de turbine dont les palettes étaient sollicitées par un courant rapide d'air déterminé par l'injection d'un jet de vapeur à haute pression dans un tube d'un diamètre plus considérable. Il décrit même, dans sa spécification, un *soufflet à vapeur*, formé d'un faisceau de tubes soudés à l'extrémité extérieure d'une buse de forge, et dans chacun desquels s'engage, d'une petite quantité, un tube effilé lançant un jet de vapeur très-rapide; les jets de vapeur déterminent un courant d'air dans chaque tube et font entrer une très-grande quantité d'air dans la buse, de telle sorte que, suivant l'auteur, « avec sept ajutages à vapeur ayant un « orifice d'une demi-ligne de diamètre, correspondant à « un même nombre de tubes de six lignes de diamètre et « un pied de longueur, on formerait un appareil qui fournirait abondamment le vent à un fourneau capable de « fondre deux mille livres de fonte de fer par heure. »

La disposition des tubes dans lesquels le jet de vapeur détermine la production d'un courant est exactement celle que l'on emploie encore pour brûler, à courant d'air forcé, certains combustibles maigres et très-menus, sur les grilles des machines fixes.

Le concours ouvert le 29 avril 1829, par les directeurs du chemin de fer de Liverpool à Manchester, est venu hâter la réalisation pratique des nouveaux principes. Dans cette lutte célèbre, trois des machines présentées se distinguèrent par d'importantes nouveautés, savoir : la *Fusée* de R. Stephenson, la *Sans-Pareille* d'Hackworth, et la *Novelty* de Braithwaite. Robert Stephenson remplit, dans le concours qui eut lieu le 9 octobre suivant, toutes les conditions du programme. D'après ces conditions la machine, montée sur 6 roues, ne devait pas peser plus de 6 tonnes; elle devait traîner, sur niveau, à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, un poids de 20 tonnes, approvisionnement de la machine compris; dans le cas où la machine n'aurait pesé que 5 tonnes, le poids à remorquer était réduit à 15 tonnes. Le poids des machines devait être réduit à 4 tonnes 1/2 pour celles qui n'avaient que quatre roues.

La *Fusée* de R. Stephenson était montée sur 4 roues et pesait 4,316 kilogrammes; elle remorqua, sur niveau, à la vitesse de 22 kilomètres 1/2 à l'heure, y compris son approvisionnement dans un *tender*, un poids de 12,942 kilogrammes, auquel avait été réduite la charge d'épreuve, à raison du poids même de la machine. La chaudière, de forme cylindrique, avait 1^m 83 de longueur, et comprenait une boîte à feu de 0^m 91 de longueur

sur 0^m 91 de hauteur ; la flamme du foyer traversait 25 tubes de 0^m 076 de diamètre. C'était la chaudière de Seguin. Le tirage était activé par l'injection, dans la cheminée, de la vapeur qui avait fonctionné dans les cylindres. Mais il résulte des recherches de Clarke, qu'il ne fit cette addition qu'après un premier essai dans lequel le tirage fit défaut, la vapeur étant d'abord lancée dans l'air à sa sortie des cylindres.

C'est dans la *Sans-Pareille* que M. Hackworth avait, dès le premier jour, adapté son *tuyau soufflant* de 1827. Sa machine, contenant plusieurs des dispositions aujourd'hui adoptées, avait une chaudière cylindrique où la consommation fut très-considérable.

La *Novelty* avait une chaudière à galerie, à surface très-développée; la vapeur du cylindre s'échappait dans l'air, la machine fut très-économique, mais très-lourde et lente. Elle portait son combustible, ainsi que sa provision d'eau, dans une bache entre les roues sous la chaudière; c'est la première *Tank-Engine* connue; la seconde ne se retrouve plus qu'en 1837, sur le railway de Birmingham, où elle fut mise en service par Church, avec des caisses à eau latérales et de grandes roues motrices.

Vers 1830 parurent 3 machines qui font époque :

1^o La *Planète* de Stephenson, où furent, pour la première fois, réunis tous les éléments et organes de la locomotive telle qu'elle a été adoptée définitivement sur les lignes ferrées;

2^o La locomotive de *Bury*, à 4 grandes roues couplées, à cylindres intérieurs et essieux coudés en vilebrequin avec les bâtis forgés et la boîte à feu sphérique, qui ont, jusqu'à

la fin, caractérisé les machines très-répandues de ce constructeur;

3^o Une nouvelle locomotive d'Hackworth plus complète que toutes les précédentes, et où l'on remarquait spécialement 6 roues accouplées par des bielles, le robinet destiné au réchauffage de l'eau alimentaire à l'aide de la vapeur en excès dans la chaudière, les balances à ressorts gradués pour charger les soupapes de sûreté, la conduite des pompes alimentaires par l'un des excentriques de la distribution et l'addition d'un dôme, sur le corps cylindrique de la chaudière, pour élever la prise de vapeur.

Dans ces derniers temps, l'histoire des locomotives comprend encore deux époques importantes :

En 1849, la machine connue sous le nom de l'ingénieur anglais Crampton (1) a été le point de départ d'une grande accélération de vitesse sur les chemins de fer à voie étroite, et de diverses innovations de détail.

En 1851, un concours analogue à celui de Liverpool en 1829 a été ouvert en Autriche, pour la construction de machines propres à gravir les rampes du chemin de fer qui traverse le Sømmering. Diverses machines ont concouru, et bien que l'une d'elles ait eu le prix, ce n'est que deux ans après que de cette lutte est sortie la puissante locomotive, en partie appuyée sur le tender, qui, appliquée d'abord à sa destination du Sømmering par M. En-

(1) Bien que des projets analogues aient été proposés, notamment en France, par M. Sangnier, chef des ateliers du chemin de fer d'Orléans, les innovations en question se sont cependant personnifiées en M. Crampton.

gerth; ingénieur autrichien, a été ensuite appropriée pour le service courant des chemins de fer ordinaires.

De la même époque datent aussi les machines accouplées que le gouvernement piémontais a fait établir pour les plans inclinés des *Giovi* (ligne de Turin à Gênes), et qui ont été appliquées depuis sur le chemin de fer de *Victor-Emmanuel*.

Ainsi qu'on le voit par l'exposé qui précède, la première idée de l'application de la machine à vapeur à la locomotion remonte à peine à un siècle; l'invention de la machine locomotive n'est complète que depuis une trentaine d'année; c'est dans ce court espace de temps que la surface de l'Angleterre, des Etats-Unis et des principaux Etats de l'Europe a été sillonnée de lignes de chemins de fer, et que la circulation rapide des personnes et des choses a pris cet énorme développement qui fera l'admiration des générations à venir.

La France peut revendiquer une part importante dans l'invention de la machine locomotive; mais, comme dans beaucoup d'autres circonstances, l'Angleterre, pressée par les besoins d'une industrie plus active, a pris les devants pour l'application des nouveaux principes.

Nous nous sommes étendus un peu longuement sur l'histoire des premiers pas faits dans la construction des machines locomotives; nous avons pensé qu'il était utile de remettre sous les yeux de nos lecteurs des détails trop souvent oubliés, dont l'ignorance peut quelquefois faire retourner en arrière, et dont la connaissance complète ne peut que servir à hâter les perfectionnements que l'avenir

nous réserve encore. Nous avons enfin voulu rendre un hommage mérité aux hommes qui ont consacré leur temps et leur fortune à la création et au développement de l'art et de l'industrie des chemins de fer. L'histoire détaillée des perfectionnements successifs qui, à partir du concours de 1829, ont amené la machine locomotive au degré de puissance et de perfection qu'elle possède actuellement, trouvera sa place plus loin; elle suppose une connaissance complète des détails de construction, dont l'exposé est précisément l'objet de notre travail.

Les chemins de fer français étaient restés, jusqu'à l'année 1845, tributaires des ateliers anglais; l'augmentation des droits à l'importation des machines locomotives et le développement considérable qu'a pris à cette époque notre réseau, ont imprimé une impulsion remarquable à nos ateliers de construction, qui jusque-là n'avaient construit qu'un nombre assez restreint de ces machines.

On compte actuellement 8 établissements dans lesquels la construction des machines locomotives a lieu sur une grande échelle, savoir:

A Paris.....	MM. Cail, Ernest Gouin, Cavé.
A Mulhouse.....	André Kœchlin.
A Rouen.....	Buddicom.
Au Creuzot.....	Schneider.
A Graffenstaden..	(Mesmer, directeur).
A Oullins les-Lyon.	Parent et Schaken (Caillat, directeur).

A ces établissements se rattachent d'autres grands ateliers qui se livrent spécialement à la fabrication des

tenders, des chaudières, des roues et pièces de grosse forge. On peut évaluer à au moins 400 machines locomotives la *capacité de production annuelle* de ces divers établissements, en supposant qu'ils ne cessent pas, pour s'adonner à cette construction, les travaux de nature diverse auxquels plusieurs d'entre eux se livrent spécialement.

La plupart des ateliers de Compagnies de chemins de fer construisent en outre, pour leur propre besoin, un nombre assez considérable de locomotives et d'engins de toute espèce.

Le tableau suivant indique le nombre des machines locomotives en service à la fin de l'année 1857, sur le réseau des chemins de fer français, mis en regard du développement total du nombre de kilomètres exploités sur chaque ligne.

NOMS DES CHEMINS DE FER.	LOCOMOTIVES exploitées.	NOMBRE DE MACHINES LOCOMOTIVES			TOTAL.
		à voya- geurs.	mixtes.	à mar- chandises, gare, etc.	
Nord.....	862	158	49	197	401
Est.....	4,595	160	139	300	508
Ouest.....	935	78	106	114	298
Paris à Lyon..... (Compris la ligne du Bourbonnais.)	4,647	132	79	192	405
Lyon à la Méditerranée.....		126	»	119	245
Orléans et prolongements.....	4,473	192	109	185	484
Midi.....	790	52	80	44	176
Lyon à Genève.....	227	»	32	18	50
Ardennes.....	52	»	10	»	10
Dauphiné.....	90	»	21	5	26
Anzin, Orsay, etc.....	51	»	»	»	20
TOTAL.....	7,760	838	625	1,081	2,521

Le tableau suivant donne l'état comparé du matériel au commencement des années 1850 et 1858.

	ANNÉES	
	1850.	1858.
Etendue du réseau.....	2,778 kil.	7,700 kil.
Nombre total de locomotives.....	1,01	2,624
Sur ce nombre on en compte :		
De fabrication étrangère.....	165	105
De fabrication française.....	850	2,521

Le rapprochement des résultats qui précèdent et que nous ne chercherons pas à compléter, notre but n'étant pas de faire une étude descriptive des chemins de fer français, nous a encouragés à entreprendre le travail long et minutieux que nous offrons de nouveau à nos lecteurs; il nous a semblé que, lorsqu'une industrie avait déjà pris un développement aussi considérable, il était utile de propager la connaissance des faits qui en dépendent, et d'en faciliter l'étude aux personnes qui s'y rattachent par leur profession ou par leurs travaux habituels.

Les planches qui accompagnent le texte reproduisent l'ensemble ou les pièces détachées de plusieurs machines locomotives. Nous avons cherché, par la variété des exemples, à faire saisir toutes les nuances des différents systèmes de construction, à établir des comparaisons utiles pour toutes les personnes qui ont à étudier les dispositions d'une machine à construire, ou à se rendre compte des conditions d'établissement d'une machine construite.

Nous ne terminerons pas sans exprimer toute notre

reconnaissance aux constructeurs et aux ingénieurs de nos principaux chemins de fer, qui ont mis, avec la plus grande obligeance, à notre disposition, les plans, documents et renseignements de toute nature que nous avons eu à consulter. Nous signalerons également les services que nous ont rendus M. H. Mathieu, ancien élève de l'École Centrale, qui s'est chargé de tous les travaux préliminaires nécessaires pour préparer la rédaction du texte de la première édition, et qui a dirigé, avec le plus grand soin, l'exécution des planches, ainsi que M. Jules Gaudry, ingénieur au chemin de fer de l'Est, qui nous a prêté un concours précieux pour revoir et compléter cette nouvelle édition.

Paris, le 15 août 1858.

GUIDE

DU

MÉCANICIEN CONSTRUCTEUR ET CONDUCTEUR

DE MACHINES LOCOMOTIVES.

LIVRE I.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

La construction des machines et leur application aux usages industriels sont basées sur l'emploi des matériaux extraits du sol et des agents naturels, dont le développement des sciences a permis d'utiliser les propriétés d'une manière chaque jour plus complète. Quelques indications succinctes et tout à fait élémentaires sont nécessaires pour faciliter, à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas familiers avec les principes de la physique, l'intelligence de notre travail. Ainsi que nous l'avons déjà dit, nous ne chercherons pas à expliquer et à démontrer les principes et les faits que nous aurons à reproduire : nous nous bornerons à donner des définitions claires et précises, et à exposer, parmi les faits que les travaux des savants ont établis d'une manière positive, ceux sur lesquels nous avons besoin de nous appuyer.

§ 1^{er}. — Propriétés générales des Fluides élastiques.

1^o DÉFINITIONS. — On donne le nom de *corps solides* aux objets matériels qui ont une forme fixe et déterminée, qu'une cause ex-

térieure peut seule modifier. Les *corps liquides* se caractérisent, au contraire, par une mobilité telle entre les particules dont ils se composent, qu'ils prennent spontanément la forme des vases qui les renferment, et cela sans que ces particules tendent à s'éloigner les unes des autres, de telle sorte que, sous une forme quelconque, ils occupent toujours le même volume. Les *corps gazeux* ou *gaz* participent de la propriété caractéristique des liquides, par le déplacement relatif que leurs particules peuvent prendre; mais ces particules ne paraissent avoir aucune liaison; elles sont, au contraire, soumises à l'action d'une force intérieure qui tend à les écarter de plus en plus, de telle sorte que ces corps ne peuvent être conservés que dans des vases entièrement fermés; si la capacité du vase qui les renferme vient à augmenter, ils ne cessent pas pour cela de le remplir, et leur volume augmente d'une même quantité; si, par une action contraire, on tend à réduire la capacité du vase qui les contient, ils subissent une réduction semblable dans leur volume pour revenir à leur état primitif, dès que la compression a cessé. Cette dernière propriété leur a fait donner le nom de *fluides élastiques*.

En principe, tous les corps sont susceptibles de prendre, suivant les conditions dans lesquelles on les place, chacun des trois états *solide, liquide, gazeux*; — l'eau, par exemple, se présente à l'état de *glace, d'eau liquide* et de *vapeur*, et on peut admettre que, s'il y a des corps que nous ne pouvons pas faire passer successivement par ces divers états, c'est à l'imperfection des moyens dont nous disposons qu'il faut l'attribuer.

On donne, en général, le nom de *vapeur* aux gaz qui, dans les circonstances ordinaires, se présentent à l'état *liquide* ou même *solide*, et n'affectent la forme *gazeuse* que par une modification de leur état habituel; l'exemple le plus commun est fourni par l'eau qui, par l'action du feu, se transforme en *vapeur*.

2° COMPRESSION ET DILATATION DU GAZ. — LOI DE MARIOTTE.

— Les gaz, en vertu de la propriété qui les caractérise, se *compriment* et se *dilatent*, c'est-à-dire occupent un espace plus

grand ou plus petit, suivant qu'on augmente ou qu'on diminue la capacité du vase qui les renferme. Ce changement de volume, lorsque les conditions de température ne sont pas modifiées, est soumis à une loi très-simple, qui a été constatée par les physiciens Boyle et Mariotte, et qui prend généralement le nom de ce dernier; cette loi s'énonce ainsi : *les volumes des gaz sont en raison inverse des pressions*.

Les travaux des savants de l'époque actuelle ont démontré que cette loi n'avait pas une généralité et une exactitude absolues; mais les limites d'erreur que l'on peut commettre en l'appliquant sont négligeables dans la pratique.

Un gaz n'étant retenu dans le vase qui le renferme que par la résistance des parois, exerce contre ces parois un effort qui tend à les briser; cet effort est la *tension* ou la *force élastique des gaz*. L'effet produit par le gaz sur les parois du vase, ou par la résistance de ces parois sur le gaz, est la *pression*. La tension et la pression ont une mesure commune, ou se mesurent l'une par l'autre; mais ces deux expressions ne sont pas exactement synonymes, quoique habituellement on les emploie indistinctement l'une pour l'autre. Nous nous appliquerons à les distinguer pour rendre plus nets les développements que nous aurons à donner dans le cours de cet ouvrage.

La loi de Mariotte peut donc s'énoncer en disant que les volumes des gaz sont en raison inverse de leur tension ou des pressions auxquelles ils sont soumis : cela veut dire que si, par une cause quelconque, un gaz qui remplit une capacité de 2, 3, 4, 5 mètres cubes subit une réduction de volume telle qu'il n'occupe plus qu'une capacité d'un mètre cube, sa tension ou sa force élastique devient double, triple, quadruple, etc., de ce qu'elle était d'abord; en d'autres termes, qu'il est soumis à une pression, ou exerce sur les parois du vase qui le renferme une pression double, triple, quadruple, etc.

3° MESURE DES PRESSIONS. — Il existe dans la pratique deux manières distinctes d'énoncer la mesure des pressions ou des for-

ces élastiques qui leur font équilibre : 1° en prenant pour unité la *pression atmosphérique* ou, comme on dit en langage ordinaire, *l'atmosphère*; 2° en prenant le poids équivalent à la pression exercée sur l'unité de surface.

L'air presse de tout son poids sur la surface du sol et sur tous les objets qui s'y trouvent placés. Cette pression s'exerce sur la surface des liquides, de telle sorte que, si l'on vient à mettre un point quelconque d'un liquide en communication avec une capacité entièrement vide, le liquide sera refoulé dans cette capacité jusqu'à ce qu'il ait atteint une hauteur telle que le poids de la colonne fasse exactement équilibre au poids de la colonne d'air. C'est sur cette propriété qu'est fondée la construction des appareils employés le plus fréquemment pour mesurer les pressions.

Pour mesurer la pression atmosphérique, on met un vase contenant du mercure en communication, d'une part, avec l'atmosphère, de l'autre, avec un tube de verre dans lequel on a fait exactement le vide; le mercure s'élève à une hauteur d'environ 0^m 76, qui mesure la pression exercée à la surface de la terre et au niveau de la mer par l'atmosphère qui l'enveloppe; cette pression est variable, et ses variations sont accusées par celles de la colonne de mercure.—L'instrument construit sur ce principe porte le nom de *baromètre*.

Si l'on met la surface du mercure contenu dans la cuvette du baromètre en communication avec une capacité pleine d'air et que l'on dilate cet air en augmentant son volume, la colonne de mercure diminuera de hauteur, de telle sorte que son poids fasse toujours équilibre à la force élastique du gaz dilaté.

Si l'on comprime le gaz, au contraire, la hauteur de la colonne de mercure augmentera. Les physiiciens, pour énoncer les mesures de la pression, se contentent souvent d'indiquer la hauteur de la colonne de mercure à laquelle elle fait équilibre; mais cette méthode n'est pas usuelle dans l'industrie des machines à vapeur; on est convenu généralement de prendre pour unité la pression habituelle de l'atmosphère ou celle qui fait équilibre à une colonne de mercure de 0^m 76 de hauteur (comme on est convenu d'appeler

mètre une certaine longueur que l'on a prise pour unité, destinée à mesurer les *longueurs*, et qui est équivalente à trois pieds anciens environ, ou plus exactement à une certaine fraction de la circonférence de la terre.) En conséquence, si l'on observe qu'un

gaz enfermé dans un vase tient la colonne du baromètre à $\frac{0^m 76}{2}$

== 0^m 38, à 0^m 76 \times 2 = 1^m 52, à 0^m 76 \times 3 = 2^m 28, etc., de hauteur, on dira que ce gaz est soumis à une *pression*, ou qu'il a une *tension* ou *force élastique* d'une demi-atmosphère, de deux, de trois, etc. *atmosphères*.

Dans la pratique on n'emploie le baromètre que pour mesurer la pression atmosphérique ou des pressions inférieures; pour les pressions plus considérables, on construit un autre instrument qu'on nomme *manomètre*, et qui se compose d'un tube ouvert à la partie supérieure et en communication avec l'air; par suite, à la pression mesurée par la hauteur du mercure, il faut ajouter celle de l'atmosphère ou *une atmosphère*, pour avoir la force élastique ou la tension réelle du gaz qui presse sur la surface du mercure. Cet instrument se divise habituellement en *atmosphères* et fractions d'*atmosphères*; et pour tenir compte de la pression atmosphérique qui s'ajoute au poids de la colonne de mercure, on place ordinairement la division 1^{re} au point où le mercure affleure, lorsque son réservoir, comme le tube, est en communication avec l'air, ou, en d'autres termes, lorsque l'appareil est au repos.

La pression, mesurée comme on l'a indiqué plus haut, est la pression totale que le gaz supporte et la mesure *exacte* de sa force élastique; on l'appelle *pression absolue*, par opposition avec la *pression effective*. Dans certaines machines, et notamment dans les machines locomotives, on ne peut utiliser que l'excédant de la pression de la vapeur sur la pression atmosphérique, comme on le verra plus loin. Par suite, les praticiens se sont habitués à n'avoir égard qu'à la *pression utile* ou *effective*; celle-ci n'est donc autre chose que la pression absolue qui mesure la force élastique du gaz, diminuée d'une atmosphère ou d'une unité. Les praticiens mettent

souvent la division 0^{mm} à l'origine de la colonne manométrique, au point où il convient en réalité de mettre la division 1^{mm}.

En Angleterre, on ne prend jamais en considération que la pression effective; en France, les règlements de police, qui ont dû être formulés d'une manière à la fois générale et précise, ont introduit dans les arts industriels l'usage de la pression absolue; il en est résulté souvent une confusion regrettable dans le langage mécanique; c'est pour éviter cette confusion que nous avons cru nécessaire d'entrer dans les développements qui précèdent. Nous ne parlerons, autant que possible, dans le cours de cet ouvrage, que de la *pression absolue*; de telle sorte que les expressions *tension*, *force élastique* et *pression*, qui pourront se présenter dans un même paragraphe, correspondent toujours à un même nombre. Le parti que nous prenons n'est pas conforme aux habitudes généralement établies dans la pratique des ateliers; mais, d'un côté, il répond aux nécessités du langage officiel, et il est l'expression de la vérité; de l'autre côté, il faudrait, pour être conséquent avec soi-même, si l'on n'avait égard qu'à la pression effective, introduire dans le langage les expressions de *tension* ou de *force élastique effective*, ce qui serait absurde, car la force d'expansion d'un gaz est une chose qui est propre et absolue.

La mesure des pressions de plusieurs atmosphères exigerait l'emploi d'un manomètre à colonne, d'une grande hauteur, qui par suite serait d'une application difficile ou impossible dans beaucoup de circonstances. On a remédié à cet inconvénient par plusieurs dispositions ingénieuses, que nous indiquerons en décrivant les manomètres employés sur les machines locomotives. En outre, on construit des *manomètres à air comprimé*, qui se composent essentiellement d'un tube fermé rempli d'air, soudé sur la paroi du réservoir à mercure. Lorsque la pression que l'on veut mesurer s'exerce sur la surface du mercure, celui-ci est refoulé dans le tube et comprime l'air dont le volume diminue en raison inverse de la pression, conformément à la loi de Mariotte. Si le tube est exactement calibré, les volumes d'air sont proportionnels aux longueurs que prend successivement la colonne, et l'instrument peut

être gradué géométriquement; mais, dans la pratique, les instruments, même bien construits, doivent être gradués par comparaison avec un *manomètre à air libre*, nom donné au manomètre ordinaire par opposition avec les manomètres à air comprimé et à tube fermé.

On fait encore usage de manomètres à ressorts métalliques de formes diverses; nous les ferons connaître en détail dans la partie descriptive de notre travail; nous ne faisons donc que les mentionner ici.

On mesure aussi les forces élastiques, comme nous l'avons dit plus haut, par le poids équivalent à la pression exercée sur l'unité de surface. Cette méthode est commode pour le calcul de la puissance des machines. Les Anglais expriment la pression en *livres par pouce carré*, c'est-à-dire en énonçant le poids, mesuré en livres, qui correspond à la pression exercée sur une surface d'un pouce carré. En France, cette mesure s'exprime en *kilogrammes par centimètre carré*; par une heureuse coïncidence, une pression d'une atmosphère correspond presque exactement au poids d'un kilogramme sur un centimètre carré; le rapport exact est 1, à 1,033. — Lorsqu'une tension ou une pression est exprimée en atmosphère, il suffit donc de multiplier le nombre correspondant par 1,033, pour obtenir en kilogrammes la charge déterminée par cette pression sur une surface d'un centimètre carré. Une pression d'une livre anglaise (avoir du poids) sur un pouce carré équivaut à une pression de 0^{kg} 07028 sur un centimètre carré, et par conséquent une atmosphère correspond à 14^l 703 par pouce carré.

§ 2. — De la chaleur.

1^o PRODUCTION DE LA CHALEUR. — La notion de la *chaleur* nous est donnée par la sensation que produit sur nos organes le contact ou l'approche d'un corps chaud; la cause inconnue de cette sensation, ou l'agent qui la produit, se révèle encore par d'autres effets qui ont reçu de nombreuses applications dans les arts, tels que la *dilatation*, la *liquéfaction* ou *fusion* des corps solides, la *vaporisation* ou transformation en fluides élastiques des corps liquides. La chaleur est l'agent direct de la production de la vapeur

et, par conséquent, le point de départ de la machine à vapeur et de la machine locomotive en particulier.

La source principale de la chaleur est le phénomène de la *combustion*, réaction chimique qui a lieu, avec dégagement de chaleur et lumière, entre certaines substances végétales ou minérales et l'oxygène de l'air.

Dans les arts industriels, l'emploi des combustibles est jusqu'ici la seule source de chaleur appliquée, le seul moyen de produire la vapeur qui fait mouvoir les organes des machines.

2° COMBUSTIBLES. — La nature des combustibles appliqués à la génération de la vapeur dans les machines locomotives varie suivant les circonstances locales. Dans certaines parties de l'Amérique du Nord et de l'Allemagne, on fait usage du *bois* en nature ; dans quelques circonstances exceptionnelles on a employé la *tourbe*, combustible minéral d'origine récente, et qui se forme encore de nos jours par la décomposition des végétaux aquatiques dans certains lacs ou marais. — Plus généralement, on emploie la *houille*, soit préalablement carbonisée et transformée en *coke*, soit à l'état cru et sans carbonisation. Ce combustible, formé de débris de végétaux qui ont subi une décomposition complète, appartient à des terrains géologiquement assez anciens. Pendant longtemps on croyait ne pouvoir employer que certaines houilles sèches ; par exemple, les *anthracites* de Pensylvanie, qui ont la propriété de s'extraire en fragments plus ou moins volumineux et de ne pas se briser en petits fragments ou décrépiter au feu ; généralement on se croyait obligé de transformer les houilles en coke, soit pour éviter la fumée, soit parce qu'on les considérait comme trop collantes et susceptibles de se prendre en masses sur la grille ; soit, au contraire, parce qu'on craignait de les voir se réduire en menus fragments qui seraient également une cause d'obstruction ; soit, enfin, pour les débarrasser d'une partie du soufre qu'elles renferment.

Depuis quelques années on s'est appliqué, avec un succès chaque jour croissant, à employer la houille crue ; les inconvénients de

la fumée, qu'on a en général fort exagérés, et dont on ne se préoccupe pas dans les pays où l'on a débuté par le bois, les tourbes, les lignites, disparaissent plus ou moins complètement par le choix de certaines sortes de houilles, par les soins que les mécaniciens apportent à la combustion, par l'emploi d'appareils spéciaux qui déterminent la combustion de la fumée. — On emploie la houille en morceaux ou le menu aggloméré à l'état de briquettes ; — on ne doit pas désespérer d'arriver bientôt à brûler les menus de charbon collant. Nous ne parlerons dans le cours de notre travail que du chauffage au coke et à la houille, qui seuls présentent de l'intérêt en France.

3° POUVOIR RAYONNANT ET CONDUCTIBILITÉ. — Les corps absorbent ou abandonnent de la chaleur suivant les conditions dans lesquelles ils sont placés : ce gain ou cette perte de chaleur a lieu soit par voie de dispersion ou de *rayonnement*, soit par voie de contact ; ils possèdent cette propriété à un degré plus ou moins saillant et présentent également des différences très-sensibles pour la *conductibilité*, c'est-à-dire pour la facilité avec laquelle la chaleur se transmet d'un quelconque de leurs points à un point voisin, et par suite se propage dans leur masse. Cette double propriété doit être prise en considération pour la construction des machines, dans lesquelles il importe d'empêcher la déperdition de la chaleur, déperdition à laquelle sont exposées surtout les machines locomotives. Il est nécessaire, dans ces dernières machines, d'envelopper les parties qui renferment le combustible incandescent, l'eau et la vapeur, avec les substances qui, par leur nature, sont peu favorables à la déperdition de la chaleur par rayonnement ou par contact ; ces substances devraient, s'il était possible, être à la fois peu conductrices de la chaleur et n'avoir qu'un faible pouvoir rayonnant. Les corps qui répondent le mieux à cette dernière condition sont les métaux polis, et notamment le *cuivre jaune* ou *laiton* ; au contraire, ceux qui dispersent le plus facilement la chaleur sont le *noir de fumée*, les corps terminés par des surfaces non-polies et noircies. Parmi les substances à travers lesquelles la chaleur se

propage avec le moins de facilité, on peut citer le *charbon*, la *sciure de bois*, le *feutre*, la *brigue*, le *bois*, etc. Une bonne enveloppe devrait être composée d'une couche assez épaisse de matières peu conductrices recouvertes d'une feuille mince de laiton poli.

4° DILATATION. — THERMOMÈTRE. — Tous les corps, par l'application de la chaleur, ont la propriété de se *dilater* dans tous les sens; leurs dimensions s'accroissent de quantités variables, suivant leur nature. L'expérience a démontré que, lorsque la quantité de chaleur que possède un corps s'accroît de quantités égales, les dimensions s'accroissent de quantités sensiblement égales; toute perte de chaleur détermine inversement une *contraction* ou *retrait*. Cette propriété a été mise à profit pour apprécier la quantité de chaleur que possèdent les corps, soit dans leur état naturel, soit lorsqu'ils ont été soumis à l'action d'une source extérieure de chaleur.

L'appareil employé porte le nom de *thermomètre*; il se compose habituellement d'un réservoir en verre rempli de mercure et surmonté d'une tige creuse, d'un calibre intérieur très-petit. — Le réservoir du thermomètre, mis en contact avec le corps dont on veut apprécier le degré de chaleur acquise, ou la *température*, se réchauffe ou se refroidit à son contact, et le mercure dilaté ou contracté monte ou descend dans la tige; le point où il s'arrête, lorsque l'équilibre est établi, fait connaître la température. Pour rendre comparables les indications des thermomètres, qui sont construits sur des dimensions très-variables, on profite de la propriété qu'ont tous les corps de ne changer d'état en passant de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux, que dans des circonstances de température identiques, et par l'application de quantités de chaleur constantes; on plonge successivement le thermomètre à graduer dans la glace fondante et dans l'eau bouillante. On marque 0° et 100° aux points où se fixe la colonne de mercure, et l'on divise l'intervalle en 100 parties égales (le tube étant régulièrement calibré sur toute sa longueur); chacune de ces divisions forme un *degré*; on prolonge l'*échelle* en

reportant des divisions égales au-dessus et au-dessous des points extrêmes. Tel est le thermomètre dit *centigrade* ou de *Celsius*. Dans le thermomètre de *Réaumur*, on divise l'intervalle des points extrêmes en 80°. — Les Anglais marquent 32° au point de la glace fondante, et 212° au point de l'eau bouillante, et ils partagent l'intervalle en 180 parties égales ou degrés. Cette graduation constitue le thermomètre de *Fahrenheit*.

La quantité dont se dilate l'unité de longueur d'un corps, pour une augmentation de température d'un degré, a reçu le nom de *coefficient de dilatation*.

Dans les recherches scientifiques, on est obligé d'avoir égard aux variations que présente le coefficient de dilatation, qui n'est pas rigoureusement constant, suivant la partie de l'échelle thermométrique dans laquelle on opère; mais pour les besoins de la pratique et pour l'usage que nous pourrions faire, dans le cours de cet ouvrage, des notions qui précèdent, nous supposons ce coefficient constant pour un même corps.

Le tableau suivant donne le coefficient de *dilatation linéaire* des principaux métaux employés dans la construction des machines locomotives :

Acier non trempé.....	0,000010791	ou	1/92700
Fer doux forgé.....	0,000012205	ou	1/81900
Fer rond passé à la filière.....	0,000012350	ou	1/81200
Acier trempé.....	0,000012391	ou	1/80700
Cuivre rouge.....	0,000017132	ou	1/58200
Cuivre jaune ou laiton.....	0,000018782	ou	1/53300
Plomb.....	0,000028484	ou	1/35600
Le coefficient de dilatation de l'eau			
est de.....	0,000433	ou	1/2300
Celui du mercure est de.....	0,000180	ou	1/5505

Les gaz ont un coefficient de dilatation sensiblement constant et commun: pour l'air sec, il est, d'après les recherches de Regnault, égal à 0,003665 ou à 0,00367, suivant le mode de dé-

termination employé ; nous adopterons le nombre 0,003666, qui est exactement égal à $\frac{11}{3000}$. Nous admettrons, à défaut de détermination plus précise, que ce coefficient s'applique à la vapeur suréchauffée ou sèche qui se comporte comme un gaz.

Pour avoir la quantité totale dont un corps se dilate, lorsque la température passe d'un degré à un autre, il suffit de multiplier le nombre qui exprime la quantité de ce corps par le nombre de degrés qui mesure l'élévation de température, et le produit par le coefficient de dilatation. Par exemple, une barre de fer de 3^m de longueur, chauffée de 10° à 150°, s'allongera de $3^m \times 140 \times 0.000012205 = 0^m005$.

5° CHALEUR SPÉCIFIQUE. — Nous avons dit plus haut que la dilatation des corps était proportionnelle aux quantités de chaleur qu'ils absorbaient ; par suite, ces quantités de chaleur sont proportionnelles au nombre de degrés qui indiquent les températures. Pour chaque degré de l'échelle thermométrique, un corps donné, en s'échauffant, absorbe une quantité de chaleur constante, ou tout au moins ne variant que de quantités négligeables pour la pratique ; mais lorsqu'on passe d'un corps à l'autre, on observe des différences très-marquées. — On désigne cette propriété qu'ont les corps d'absorber ou de dégager des quantités de chaleurs différentes pour une même variation de température, par le nom de *chaleur spécifique* ou *capacité pour la chaleur*.

On ne peut pas mesurer d'une manière absolue les quantités de chaleurs totales comprises dans un corps ; on peut seulement comparer les quantités de chaleurs que les différents corps absorbent pour un même effet calorifique produit. On a choisi l'eau pour terme de comparaison, et l'on désigne par 1 sa chaleur spécifique ; les chaleurs spécifiques des autres corps sont proportionnelles aux quantités de chaleurs que ces corps absorbent comparativement avec un poids égal d'eau, pour passer d'une température à une autre température. Si l'on prend, par exemple, 1^{kg} d'eau à 10°, et qu'on le mélange avec de la glace à 0°, l'eau, en abandonnant sa

chaleur spécifique, fera fondre une certaine quantité de glace, dont le poids pourra être déterminé. Si l'on prend ensuite différents corps à 10°, et qu'on les mette successivement en contact avec de la glace à 0°, chacun d'eux, en abandonnant sa chaleur spécifique, fera fondre une certaine quantité de glace, dont le poids sera également déterminé. Les quantités de glace fondue sont proportionnelles aux quantités de chaleurs abandonnées par les différentes substances, et si elles sont égales, par exemple, pour les corps autres que l'eau, à 1/8, 1/9, 1/10, etc., de celles que l'eau a fondues, on dira que les *chaleurs spécifiques* de ces corps sont 1/8, 1/9, 1/10, etc., celle de l'eau étant 1.

Le tableau suivant donne les chaleurs spécifiques des principales substances qui entrent en jeu dans une machine locomotive :

Eau	1,0000
Plomb	0,0293
Cuivre	0,1013
Fer forgé	0,1218

On appelle *unité de chaleur* ou *calorie* la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau. Pour avoir le nombre de *calories* capables d'élever d'un certain nombre de degrés la température d'un corps dont le poids est connu, il suffit de multiplier le poids de ce corps donné en kilogrammes par le nombre qui exprime la chaleur spécifique et par le nombre de degrés centigrades dont sa température doit être élevée. — Par exemple, pour chauffer à 150° une masse de fer de 506^{kg}, dont la température initiale est de 10°, il faudra un nombre de calories égal à $500 \times 0,1218 \times (150 - 10) = 8526$.

En appliquant la chaleur dégagée par la combustion d'un corps, à échauffer une masse d'eau connue, dont on observe les variations de température, on détermine le *pouvoir calorifique* des divers combustibles. Le tableau suivant indique le nombre de calories que peut produire en moyenne un kilogramme des divers combustibles habituellement employés dans les arts, en d'autres termes le nombre de kilogrammes d'eau que la combustion d'un

kilogramme de chaque substance pourrait échauffer d'un degré, si toute la chaleur dégagée était utilisée.

Tourbe ordinaire.....	1500 calories.
Tourbe de 1 ^{re} qualité.....	3000 »
Bois séché à l'air.....	2945 »
» au feu.....	3666 »
Houille de 3 ^e qualité.....	5932 »
» 2 ^e »	6345 »
» 1 ^{re} »	7050 »
Coke pur.....	7050 »
Charbon de bois ordinaire.....	6000 »
» sec ou distillé.....	7050 »

Ces nombres, empruntés à divers ouvrages, n'ont rien d'absolu, car ils s'appliquent à des substances de qualité très-variable; ils peuvent cependant être appliqués à des calculs approximatifs, surtout lorsqu'il s'agit de comparer entre eux des combustibles de nature différente.

§ 3. — De la Vapeur d'eau.

1^o PRODUCTION DE LA VAPEUR D'EAU. — La vapeur d'eau s'obtient en brûlant un combustible quelconque au contact d'un vase rempli d'eau. La masse s'échauffe graduellement jusqu'à 100°; à partir de ce point, la température devient stationnaire, et si l'on opère dans un vase de verre, on voit se former sur les parois soumises à l'action du feu des bulles qui viennent crever à la surface. C'est là ce qui constitue le phénomène de l'ébullition. Pour utiliser la vapeur comme agent mécanique, on produit l'ébullition dans un vase fermé à la partie supérieure duquel la vapeur se rassemble, et d'où on la fait échapper par un orifice dont l'ouverture se règle à volonté, au moyen d'un *robinet, soupape*, ou obturateur quelconque.

La vapeur d'eau se produit encore par *évaporation*, c'est-à-dire

par émission spontanée à la surface du liquide, à des températures inférieures à 100°. Cela tient à ce que les liquides, sans participer à toutes les propriétés caractéristiques des fluides élastiques, ont leurs particules soumises à une certaine force répulsive qui tend à les écarter les unes des autres, mais dont l'action est faible et se trouve équilibrée par la pression que la vapeur déjà formée exerce à la surface, dès qu'elle remplit toute la partie supérieure du vase, si c'est dans le vide qu'on opère, ou dès qu'elle sature le gaz qui remplit le vase et dans lequel elle peut se dissoudre dans une certaine proportion. Il est du reste inutile d'insister sur le phénomène de l'évaporation, qui ne joue aucun rôle dans les machines à vapeur.

2^o CHALEUR LATENTE. — La fixité de la température pendant l'ébullition a dû naturellement appeler l'attention des physiciens. On a reconnu qu'elle était due à l'absorption de la chaleur par la vapeur qui se forme. Cette chaleur est nécessaire pour constituer le nouvel état sous lequel l'eau se présente; elle ne se révèle par aucune action extérieure. Toute la chaleur transmise par le combustible à la masse d'eau en ébullition est appliquée à produire le changement d'état qui a lieu lui-même lorsque la force répulsive intérieure, s'accroissant avec la température, tend à dépasser la pression exercée à la surface par le milieu dans lequel le liquide est placé. L'ébullition a lieu à 100° au contact de l'air atmosphérique, parce que c'est à cette température que la force répulsive, qui tend à écarter les particules de l'eau, fait équilibre à la pression de l'atmosphère. Si l'ébullition se produit dans un milieu qui détermine sur la surface du liquide une pression supérieure à celle de l'atmosphère, la température de l'eau s'élève au-dessus de 100°, et c'est à un point supérieur de l'échelle thermométrique que l'ébullition se produit; à partir de ce point, toute la chaleur transmise au liquide est appliquée à produire le changement d'état et en quelque sorte incorporée aux particules du fluide élastique qui se forme. On donne à la chaleur ainsi absorbée pendant le changement d'état le nom de *chaleur latente*, par opposition avec la cha-

leur sensible qui produit l'élévation de température accusée par le thermomètre.

On a admis pendant longtemps que la *chaleur latente* variait avec la température à laquelle se produisait l'ébullition, de telle sorte que la *chaleur totale* absorbée par l'eau à l'état de chaleur spécifique et de chaleur latente *restât constante*, quelles que fussent la pression et la température d'ébullition. Mais cette loi n'était que grossièrement approximative, ainsi que l'ont démontré les expériences de M. Regnault, entreprises au collège de France, par ordre de l'administration des travaux publics.

La table suivante indique, d'après ces expériences, les quantités totales de chaleur absorbées depuis la température de 0°, pour réduire en vapeur un kilogramme d'eau aux différentes températures auxquelles l'ébullition peut avoir lieu, en raison de la pression à laquelle est soumis le liquide :

Température de l'ébullition.	Chaleur totale ou nombre de calories absorbées, depuis 0°.
0°.....	606.5
50°.....	621.7
100°.....	637.0
110°.....	640.0
120°.....	643.1
130°.....	646.1
140°.....	649.2
150°.....	652.2
160°.....	655.3
170°.....	658.2

Lorsque l'on abaisse au contraire la température de la vapeur, soit en y projetant de l'eau froide, soit en refroidissant extérieurement les parois du vase qui la renferme, il arrive un point où la force répulsive, qui décroît avec la température, ne suffit pas pour la maintenir à l'état de fluide élastique ; elle se transforme en eau, en abandonnant la chaleur latente qu'elle avait absorbée.

C'est là le phénomène de la *condensation*. Si la condensation a lieu dans l'atmosphère, par un temps humide, tel que la vapeur ne puisse pas se dissoudre dans l'air qui en est déjà saturé, elle se précipite sous forme de flocons blancs, comme ceux qu'on voit s'échapper de la cheminée d'une machine locomotive en marche.

La glace, en fondant, absorbe également de la chaleur latente lorsqu'elle entre en fusion, ou, inversement, l'eau en abandonne lorsqu'elle se congèle.

3° FORCE ÉLASTIQUE DE LA VAPEUR D'EAU. — SA DENSITÉ. — Lorsque la vapeur se produit dans un appareil fermé, elle reste en contact avec le liquide et remplit l'espace libre ou réservoir de vapeur. Si, par une cause quelconque, une portion de cette vapeur venait à disparaître, la partie restante tendrait à se dilater en diminuant de pression, conformément à la loi de Mariotte ; mais le liquide n'étant plus soumis à l'action de la pression qui le tenait en équilibre, entrerait en ébullition, jusqu'à ce que la vapeur fût accumulée dans le réservoir en quantité assez grande pour déterminer la pression qui fait équilibre à la tension propre du liquide. Au contraire, si l'on cherchait à comprimer la vapeur, sa force élastique cesserait de faire équilibre à la force répulsive intérieure des particules, et il y aurait condensation ; on dit, dans ce cas, que la vapeur est à *saturation*. La température de la vapeur à saturation, en contact avec le liquide qui l'a produite, est nécessairement égale à celle du liquide, car, sans cela, il y aurait ébullition ou condensation.

On s'est appliqué à établir, par des expériences très-multipliées, le rapport qui existe entre la température à laquelle a lieu l'ébullition et la pression exercée sur le liquide par la vapeur, ou, ce qui revient au même, la relation existante entre la température et la force élastique de la vapeur à saturation, afin de pouvoir déduire indistinctement l'un de ces éléments de l'autre. On ne considère habituellement que la vapeur à saturation, et lorsqu'on se sert de l'expression : *force élastique de la vapeur*, c'est de la force élastique à saturation que l'on veut parler.

Le tableau suivant, dressé par M. Regnault au moyen des résultats qu'il a obtenus dans les expériences qui ont déjà été citées, donne les forces élastiques de la vapeur d'eau de 5 en 5 degrés, à partir de 100 degrés jusqu'à 180 degrés, limites entre lesquelles sont comprises toutes les données qui peuvent être nécessaires dans la pratique, en ce qui concerne toutefois les machines locomotives. (Les pressions sont exprimées en millimètres de mercure et en atmosphères.)

TEMPÉRATURES.	FORCES ÉLASTIQUES	
	en hauteur de mercure.	
	mm.	atm.
100°.....	760.0	1.00
105°.....	906.4	1.19
110°.....	1075.4	1.41
115°.....	1269.4	1.67
120°.....	1491.3	1.96
125°.....	1743.9	2.29
130°.....	2030.3	2.67
135°.....	2353.7	3.09
140°.....	2717.6	3.57
145°.....	3125.6	4.11
150°.....	3581.2	4.71
155°.....	4088.6	5.38
160°.....	4651.6	6.12
165°.....	5274.5	6.94
170°.....	5961.7	7.85
175°.....	6717.4	8.84
180°.....	7546.4	9.93

Ces résultats sont liés entre eux par une loi continue, mais dont l'expression ne peut être donnée que par une formule compliquée. Nous renverrons les personnes qui auraient besoin de renseignements plus détaillés à ce sujet à la *relation des expériences*, etc., publiée par M. Regnault.

La connaissance des résultats qui précèdent permet d'évaluer, au moyen du thermomètre, la force élastique de la vapeur d'eau en contact avec le liquide qui la produit; il suffit pour cela de plonger dans l'eau ou dans la vapeur le réservoir du thermomètre, en l'entourant d'une enveloppe métallique qui le préserve des effets de la pression, et d'inscrire sur sa tige les pressions qui correspondent aux divers degrés de température. Cet instrument, qui a été fréquemment employé sur les machines locomotives, mais que sa fragilité rend peu commode, porte le nom de *thermomètre*. Le tableau qui précède donne la concordance des températures observées au moyen de cet instrument avec les pressions ou les forces élastiques de la vapeur saturée ou en contact avec le liquide qui l'a produite.

La *densité* d'un corps est le poids de l'unité de volume. Pour l'étude de la machine locomotive, il est nécessaire de connaître la densité de la vapeur aux différentes pressions auxquelles elle peut être employée. Nous donnons ces densités, en indiquant le poids d'un mètre cube pour la vapeur saturée, en concordance avec la température et avec les autres éléments qu'il peut être utile de prendre en considération. Il est à regretter que les expériences de M. Regnault, auxquelles nous empruntons la plupart des éléments de ce tableau général, n'aient pas encore donné la mesure exacte des densités de la vapeur. Nous les avons déterminées par le calcul, avec toute l'approximation que comportent les formules connues.

TABEAU

DES TENSIONS, DE LA TEMPÉRATURE, DES VOLUMES ET DES DENSITÉS
DE LA VAPEUR DE 0 A 10 ATMOSPHÈRES.

TENSION DE LA VAPEUR			TEMPÉRATURES en degrés centigrades correspondant aux différentes pressions.	VOLUMES en litres d'un kilogramme de vapeur.	POIDS en kilogrammes du mètre cube de vapeur.
en atmosphères.	en millièmes de hauteur de mercure.	en kilogrammes par centimètres carrés.			
0,25	150	0,260	68° 557	6154,97	0,163
0,50	380	0,518	81° 707	3205,15	0,312
0,75	570	0,776	92° 449	2002,64	0,454
1,00	760	1,054	100° 000	1689,40	0,592
1,25	950	1,305	106° 556	1375,21	0,728
1,50	1140	1,581	111° 759	1161,44	0,861
1,75	1320	1,899	116° 429	1007,00	0,995
2,00	1520	2,067	120° 398	891,36	1,122
2,25	1710	2,526	124° 562	799,56	1,251
2,50	1900	2,584	127° 799	726,21	1,377
2,75	2090	2,842	150° 968	665,55	1,505
3,00	2280	3,100	155° 910	614,90	1,628
3,25	2470	3,500	158° 689	570,45	1,755
3,50	2660	3,618	159° 245	535,55	1,875
3,75	2850	3,876	141° 682	503,55	1,998
4,00	3040	4,154	144° 000	471,92	2,119
4,25	3250	4,594	146° 491	445,42	2,240
4,50	3420	4,652	148° 290	425,95	2,359
4,75	3610	4,910	150° 296	405,71	2,477
5,00	3800	5,168	152° 219	384,90	2,598
5,25	3990	5,427	154° 068	368,48	2,716
5,50	4180	5,685	155° 846	352,86	2,834
5,75	4370	5,945	157° 590	339,00	2,949
6,00	4560	6,201	159° 218	326,45	3,066
6,25	4750	6,461	160° 821	315,87	3,186
6,50	4940	6,749	162° 574	303,42	3,299
6,75	5130	6,977	165° 882	295,00	3,415
7,00	5320	7,255	168° 544	285,57	3,529
7,25	5510	7,494	166° 766	273,89	3,655
7,50	5700	7,752	168° 451	265,58	3,756
7,75	5820	8,010	169° 498	258,46	3,869
8,00	6000	8,268	170° 815	251,19	3,981
9,00	6840	9,502	175° 767	225,68	4,451
10,00	7000	10,353	180° 506	205,24	4,875

§ 4. — Du Frottement.

1° FROTTEMENT DES CORPS SOLIDES.—Lorsque deux corps solides sont en contact et qu'on veut les faire glisser l'un sur l'autre, on éprouve une certaine résistance au déplacement initial et ensuite au mouvement; cette résistance est le *frottement*, ou plus spécialement le *frottement de glissement*. Lorsqu'un corps solide de forme cylindrique, comme un rouleau, une roue, est placé sur un plan et qu'on veut le faire rouler, on éprouve encore une résistance au mouvement; c'est le *frottement de roulement*.

Les expériences des physiciens, et spécialement celles de Coulomb et de M. le général Morin, ont fait reconnaître que le frottement de glissement n'est pas le même pour tous les corps; que son intensité ou la force nécessaire pour le surmonter est indépendante de la vitesse du mouvement de déplacement et de l'étendue des surfaces suivant lesquelles le contact a lieu; mais qu'elle dépend seulement de la pression totale qui s'exerce au contact, et qu'elle varie proportionnellement à cette pression. Le frottement de deux corps diminue lorsqu'on donne un poli aux surfaces de contact; il diminue encore lorsqu'on interpose entre ces surfaces une matière onctueuse, comme le savon, le suif, la graisse, l'huile. Cette double propriété est d'une importance capitale dans la construction des machines locomotives, où il importe de réduire autant que possible le frottement des pièces du mécanisme. Nous ferons remarquer toutefois qu'il ne faut accepter qu'avec une certaine réserve les principes qui viennent d'être posés, lorsqu'il s'agit de véhicules en mouvement à de grandes vitesses et de pressions très-considérables, qui sont de nature à déformer les pièces et peuvent même rendre tout graissage impossible.

Le frottement de roulement est proportionnel à la pression exercée par la roue sur la surface de roulement, et en raison inverse du rayon de la roue. Il semblerait au premier abord que le frottement de roulement doit être nul, lorsqu'il s'agit de roues en fonte portées par des rails; mais la pression détermine toujours

au point de contact une légère déformation du rail et de la roue, et le mouvement de celle-ci a toujours lieu comme si elle devait monter sur une série de plans inclinés très-petits; de là, une résistance à vaincre.

Les tableaux suivants font connaître les principaux résultats obtenus dans les expériences qui ont eu pour objet la mesure de l'intensité du frottement; ils donnent le *coefficient du frottement*, ou le rapport de la résistance occasionnée par le frottement à la pression exercée sur la surface au point de contact. Le frottement qui a lieu au départ, lorsque les surfaces ont été quelque temps en contact, est toujours sensiblement plus considérable que lorsque les corps frottants sont en mouvement. Nous ne donnerons toutefois la valeur du coefficient que pour le dernier de ces deux cas, le premier présentant peu d'intérêt pour l'étude des machines locomotives.

FROTTEMENT DES SURFACES EN MOUVEMENT LES UNES SUR LES AUTRES.

1^o Surfaces planes.

Indication des surfaces en contact.	État des surfaces.	Coefficient de frottement.
Fer sur chêne (fibres parallèles)	sans enduit.....	0.62
— —	mouillées d'eau....	0.26
— —	frottées de savon sec.	0.21
Fonte sur chêne (fibres parallèles)	sans enduit.....	0.49
— —	mouillées d'eau....	0.22
— —	frottées de savon sec.	0.19
Cuivre jaune sur orme —	sans enduit.....	0.62
Fer sur orme —	—	0.25
Fonte sur orme —	—	0.20
Fer sur fer (les surfaces se rodent lorsqu'il n'y a pas d'enduit).		
Fer sur fonte et sur bronze....	sans enduit, mais un peu onctueuses..	0.18
Fonte sur fonte et sur bronze...	sans enduit, mais un peu onctueuses..	0.15

Indication des surfaces en contact.	État des surfaces.	Coefficient de frottement.
Bronze sur bronze.....	sans enduit.....	0.20
— sur fonte.....	—	0.22
— sur fer.....	un peu onctueuses..	0.16
Bois divers et métaux glissant l'un sur l'autre ou sur eux-mêmes.....	graisés à la manière ordinaire, avec du suif, saindoux, huile, etc.....	0.07 à 0.08

2^o Surfaces cylindriques ou tourillons sur coussinets.

Tourillons en fonte sur coussinets en fonte.....	enduites de corps gras, à la manière ordinaire.....	0.07 à 0.08
Tourillons en fonte sur coussinets en bronze.....	enduites de corps gras.....	0.07 à 0.08
Tourillons en fer sur coussinets en fonte.....	end ^{tes} de corps gras.....	0.07 à 0.08
Tourillons en fer sur coussinets en bronze.....	onctueuses et mouillées d'eau.....	0.19

(Lorsque le graissage a lieu d'une manière continue, le coefficient de frottement diminue jusqu'à 0,05 à 0,06).

Ces résultats font voir l'influence marquée qu'exerce un graissage soigné sur l'intensité des frottements, indépendamment de son importance pour la conservation des pièces; il semblerait en ré-

sulter, en outre, que la nature des matières en contact et des substances employées comme moyen de graissage a peu d'influence sur le frottement; cependant, on admet dans la pratique que la qualité des huiles ou des graisses exerce une influence marquée sur le frottement. Quoi qu'il en soit, on ne saurait apporter trop de soin au choix des matières employées, qui doivent être appropriées à l'application qu'on veut en faire. Pour les huiles, par exemple, une première condition à remplir, c'est qu'elles adhèrent fortement après les pièces métalliques lorsque celles-ci sont animées d'un mouvement rapide.

On manque d'expériences directes faites sur le frottement de roulement des roues en fer sur les rails en fer secs ou humides. D'après quelques expériences indirectes, faites sur des matières et dans des conditions analogues, on peut admettre que le coefficient de roulement sur les chemins de fer varie de 0,002 à 0,003.

2° ADHÉRENCE. — Le frottement ne joue pas seulement un rôle important, dans la locomotion, par les résistances qu'il oppose au mouvement des pièces du mécanisme ou au déplacement des véhicules, il se rattache encore à l'un des éléments essentiels de la puissance des machines locomotives, à l'*adhérence*. Lorsque deux corps sont en contact parfait, on ne peut les séparer qu'en exerçant un certain effort, qui est nécessaire pour surmonter les effets de l'attraction moléculaire sur les particules des deux corps en contact immédiat; c'est ce qui a lieu pour les mortiers qui adhèrent aux matériaux de construction, pour l'eau qui reste adhérente aux corps qu'elle mouille. C'est à cette propriété que les physiciens ont donné le nom d'*adhérence*. Si, au lieu de séparer les corps en les écartant, on veut les faire glisser l'un sur l'autre, on n'a pas seulement à vaincre l'*adhérence*, il faut encore vaincre le frottement, c'est-à-dire la résistance qui s'oppose au glissement.

Lorsqu'une roue repose sur un rail où elle exerce une certaine pression, et qu'on veut la faire tourner sur place, il faut, son axe étant fixé d'une manière invariable, appliquer à sa circonférence

ou à un point quelconque d'un de ses rayons un effort suffisant pour vaincre la résistance due à l'*adhérence* et au frottement. Dans la pratique, on a donné assez improprement le nom d'*adhérence* à cette résistance au glissement sur place, qui ne peut être surmontée que par un effort d'autant plus considérable que la pression de la roue sur le rail est elle-même plus considérable. L'*adhérence*, comme l'entendent les physiciens, est bien en jeu, mais pour une part très-petite. C'est en réalité le frottement qui joue le rôle important; et, à proprement parler, l'*adhérence* des mécaniciens n'est autre chose que le *frottement au départ* des physiciens. On peut supposer que l'axe, au lieu d'être fixé invariablement, soit seulement retenu par une force agissant en sens contraire de la force qui sollicite la roue ou de la force motrice. Tant que la première de ces deux forces ne dépassera pas certaines limites d'intensité, elle pourra être surmontée par la seconde, et la roue, au lieu de rester immobile et de tourner sur place, suivant le rapport existant entre la force motrice et l'*adhérence*, prendra un mouvement de déplacement en roulant sur le rail. Si la première des deux forces ou la résistance dépasse au contraire certaines limites, on conçoit que la force motrice pourra devenir impuissante pour produire le mouvement en avant, et suivant le rapport qui existera entre cette force et l'*adhérence*, la roue tournera sur place ou restera immobile.

La notion de l'*adhérence*, dans les machines locomotives, paraît très-simple au premier abord; mais, lorsqu'on veut s'en rendre un compte exact, les considérations dans lesquelles il faut entrer sont très-déliées. Nous ne cherchons, quant à présent, qu'à donner une définition et à faire entrevoir le rôle que joue l'*adhérence* dans la théorie de la machine locomotive.

3° ECOULEMENT DE L'EAU ET DE LA VAPEUR. — Dans les machines locomotives, l'eau, la vapeur, les gaz du foyer circulent dans des tuyaux ou à travers des orifices dont la forme et la dimension influent sur les conditions de l'écoulement. Toute résistance à l'écoulement des fluides, dans le système de la machine, nécessite

l'application d'une force correspondante qui est dépensée sans profit, et dont on doit chercher, autant que possible, à diminuer l'importance.

La résistance à l'écoulement des fluides, qui est due au frottement de ces fluides sur eux-mêmes et sur les parois des conduits, a été l'objet de nombreuses recherches entreprises par plusieurs physiciens ; mais ces expériences ne se rapportent guère aux conditions de la pratique des locomotives ; entreprises dans un but surtout scientifique, elles ne peuvent fournir pour l'objet qui nous intéresse que des préceptes généraux. — En effet, l'eau circule dans des tuyaux de forme très-variable et très-tourmentée, elle passe à travers des étranglements plus ou moins contournés. La vapeur, telle qu'elle est employée dans les machines actuelles, ne peut pas être assimilée à un gaz en ce qui touche son écoulement, car elle est toujours plus ou moins chargée d'eau liquide, dont la présence devient une cause très-importante de résistance dans les conduites ; les gaz qui traversent les tubes ont une composition et une température que l'on ne connaît pas encore exactement. Nous nous bornerons donc à quelques indications générales qui doivent rester elles-mêmes subordonnées aux nécessités et aux convenances de la construction, car il arrivera souvent que, pour rendre le montage de telle ou telle partie de la construction plus facile, on devra sacrifier une disposition de tuyaux qui, théoriquement, devrait être préférable. En outre, nous ferons remarquer que rien ne démontre, d'une manière bien positive, que les lois établies par les physiciens, dans des conditions de vitesse en général assez faibles, soient encore vraies dans les circonstances tout à fait spéciales de la circulation des fluides dans les organes des machines locomotives.

La résistance opposée par les parois de la conduite au mouvement de l'eau est proportionnelle à la longueur de la conduite, en raison inverse de son diamètre, et, lorsqu'il s'agit de grandes vitesses, proportionnelle au carré de la vitesse.

La résistance due aux parois est la principale, si la conduite est longue ; mais si elle est courte, la résistance due au passage de

l'eau dans des coudes ou à travers des étranglements présentant une moindre section que le tuyau et des formes irrégulières, peut devenir très-importante. Des renflements disposés mal à propos sur le cours d'une conduite peuvent déterminer également une augmentation de résistance très-notable.

Les observations qui précèdent s'appliquent spécialement aux appareils d'alimentation, soit aux pompes et aux conduites des machines fixes qui servent à élever l'eau dans les réservoirs, soit aux appareils de distribution, soit aux pompes qui sont placées sur les machines locomotives.—On devra s'appliquer, dans la construction de ces divers appareils, à réduire autant que possible les sinuosités des tuyaux, ou au moins à éviter des coudes brusques, à maintenir partout, autant que possible, une section uniforme et égale à celle des tuyaux de conduite au passage des robinets et des clapets de retenue ; enfin on devra éviter l'emploi de tuyaux d'un trop petit diamètre, et établir une juste proportion, que l'expérience seule peut indiquer, entre l'augmentation de section des conduites, au point de vue de l'amointrissement de la résistance et la diminution de cette même section, au point de vue de l'économie des frais de premier établissement.

L'écoulement des gaz et des vapeurs est soumis aux mêmes lois que l'écoulement des liquides ; les mêmes règles sont à observer dans la disposition des conduites.—Ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer, la présence de l'eau, entraînée à l'état liquide dans la vapeur, ne modifie pas les lois de l'écoulement, mais elle change la valeur des coefficients qui entrent dans les formules employées pour mesurer la dépense de vapeur qui doit avoir lieu par des orifices et dans des conduites de dimensions déterminées ; la résistance que l'eau éprouve dans son mouvement étant beaucoup plus considérable que celle qu'éprouve un gaz ou une vapeur sèche, il en résulte que, dans la pratique, la résistance à l'écoulement de la vapeur croît très-rapidement avec la proportion d'eau entraînée.

L'influence des étranglements sur la résistance au mouvement des fluides est mise à profit dans la construction des *régulateurs*, c'est-à-dire des robinets ou appareils équivalents qui servent à

régler l'écoulement de l'eau et de la vapeur dans les machines locomotives. Les pompes alimentaires, dont nous donnerons la description plus loin, ont des dimensions fixes et tendent à débiter à chaque coup de piston une quantité d'eau constante. Lorsque la conduite de la machine exige que l'alimentation soit moins rapide que ne le comporte la dimension des pompes, on crée une résistance additionnelle au mouvement de l'eau dans les tuyaux, en manœuvrant un robinet ou une soupape de régulation qui détermine un étranglement ou produit une résistance au mouvement de l'eau, et, par suite, une diminution dans le débit de la conduite et finalement dans le produit de la pompe. Pour régler à volonté la dépense de vapeur dans les cylindres de la machine, élément qui constitue, comme on le verra plus loin, sa puissance, on intercale dans la conduite de vapeur un robinet ou un appareil équivalent nommé spécialement *régulateur*, au moyen duquel on étrangle plus ou moins le passage; l'augmentation de résistance produit une diminution dans la dépense de vapeur.

§ 5. — Du Travail des machines.

1° DÉFINITIONS. — On donne en général le nom de *force* à la cause quelconque qui met un corps en mouvement, ou seulement qui tend à le mouvoir, lorsque son effet est suspendu ou empêché par une autre cause. La *pesanteur*, ou l'action exercée par la masse de la terre sur les corps placés à sa surface, est une des principales forces naturelles; la *force élastique* des gaz et des vapeurs, ou l'action qui tend à écarter les particules qui la composent, est également une des forces dont les applications sont le plus multipliées. — La *pression* de la vapeur est l'effet ou la manifestation de la force intérieure qui tend à lui faire occuper un volume de plus en plus grand; la *résistance* des parois du vase qui contient une vapeur ou un gaz emprisonné, en l'empêchant de se dilater, est l'effet de la *force de cohésion* qui retient les particules des corps solides agrégées et empêche la déformation ou la rupture du vase. — La cohésion de la matière qui forme le vase fait équi-

libre à la force élastique de la vapeur ou du gaz, ou, en d'autres termes, la résistance du vase fait équilibre à la pression des fluides élastiques.

Lorsqu'une force appliquée à un corps n'est pas équilibrée par une force contraire, elle met ce corps en mouvement; l'effet ainsi produit est ce qu'on appelle le *travail* de la force. — On distingue le *travail moteur* et le *travail résistant*, suivant que la force agit sur le corps pour produire son déplacement ou pour s'opposer à ce déplacement. — Si l'on suppose, par exemple, un vase cylindrique séparé, par un diaphragme mobile, en deux parties remplies chacune d'un fluide élastique, celui des deux fluides qui aura la force élastique ou la tension la plus forte se dilatera en poussant le diaphragme; l'autre fluide élastique, au contraire, se comprimera en résistant par sa tension à ce déplacement, jusqu'à ce que cette résistance soit suffisante pour faire équilibre à la pression exercée sur l'autre face du diaphragme. — La force élastique du premier fluide aura effectué un certain *travail moteur*, celle du second fluide aura effectué un certain *travail résistant*.

Pour comparer les forces, on est convenu d'adopter pour terme de comparaison l'action de la pesanteur. — On a commencé par prendre pour unité de mesure de cette force l'action exercée par la pesanteur sur un corps de nature et volume déterminés; puis on est convenu de prendre pour unité de mesure des forces en général l'action exercée par la pesanteur sur un centimètre cube d'eau distillée à 0 degré. On a donné à cette unité le nom de *gramme*. La mesure de l'action de la pesanteur sur un corps quelconque est exprimée en multiples ou sous-multiples du gramme; cette mesure est le *poids* du corps.

Les autres forces sont comparées à la pesanteur. On cherche quel est le poids qui leur ferait équilibre, et ce poids est pris pour la mesure de la force. Si l'on exerce, par exemple, un effort de traction sur une corde en la tirant avec les mains par chaque bout, on produira un effet qu'il serait facile de reproduire au moyen d'un certain poids; ce poids sera la mesure de la force musculaire développée. La force de la vapeur est également mesurée par le

poids qui produirait une même pression sur la même surface, ainsi qu'on l'a déjà vu.

Le travail d'une force a pour mesure le produit du poids qui représente cette force par la distance parcourue par le corps auquel elle est appliquée. Dans le langage ordinaire, si l'on considère un homme qui porte des pavés, par exemple, à une distance constante de 100^m, lorsqu'il aura transporté 200, 300, etc., pavés, on dira qu'il a fait un travail double, triple, etc., de celui qu'il avait effectué en transportant le premier cent; de même, s'il ne transporte que 100 pavés, mais qu'il les porte à 20^m, 30^m, etc., on dira encore qu'il a fait un travail double, triple, etc., de celui qu'il avait effectué en ne les transportant qu'à 10^m; en un mot, on mesurera le travail de cet homme en multipliant le poids qu'il a transporté par la distance à laquelle le transport a été effectué. Le travail moteur ou résistant d'une force se mesure exactement de la même manière. On est convenu d'exprimer la force en kilogrammes et les espaces parcourus en mètres; on donne à cette mesure le nom d'*unité dynamique, dynamique* ou *dynamode*, et on la représente par la notation ^{km} placée en exposant. (100 ^{km} représentent: 10^{ks} transportés à 10^m, ou 100^{ks} à 1^m, ou enfin 1^{ks} à 100^m.)

Dans la pratique, on se sert fréquemment de l'expression de *force de cheval* et *cheval-vapeur*; c'est une unité spéciale que l'usage a introduite, et qui, lorsqu'on attache un sens trop précis aux mots qui l'expriment, pourrait induire en erreur. On représente ainsi le travail qui correspond à 75^{ks} élevés à 1^m, ou 1^{ks} élevé à 75^m dans l'intervalle d'une *seconde* de temps; elle correspond, à fort peu près, à l'unité routinière de Watt, [33,000 livres (avoir du poids) élevées à 1 pied en une minute] qui correspondait elle-même à la force de chevaux de choix, capables de produire un travail de cette importance; la force des chevaux français n'est, en moyenne, que la moitié de celle qui a servi de terme de comparaison.

On exprime habituellement la puissance des machines en *chevaux-vapeur*; pour cela on observe, pendant un certain temps, le nombre de kilogrammes qu'elles sont capables d'élever à 1 mètre,

on réduit ce nombre à l'intervalle d'une seconde; en divisant le résultat par 75, on a le nombre de *chevaux-vapeur* ou la *force en chevaux* de la machine. C'est la mesure adoptée par les règlements administratifs en France.

Si l'on suppose, par exemple, qu'une machine à vapeur qui fait marcher des pompes élève, en une minute, 10^{m³} d'eau à 25^m de hauteur, c'est-à-dire qu'elle produise 250,000^{km}, elle ne produira par seconde que $\frac{250,000^{\text{km}}}{60}$ ou 4,167^{km}, et sa *force en chevaux*

sera de $\frac{4,167^{\text{km}}}{75}$ ou 55 *chevaux* et demi.

Le nombre obtenu comme résultat du calcul qui précède correspond au *travail utile* de la machine, c'est-à-dire à la différence entre le travail moteur de la vapeur et le travail résistant dû au frottement et à toutes les causes de déperdition de force qui existent dans une machine, quelque parfaite que soit sa construction. C'est le nombre de *chevaux-vapeur utiles* ou *effectifs*, qui représente la puissance de la machine.

Lorsqu'on veut comparer le travail que peut effectuer une machine à vapeur à celui qu'on peut obtenir par l'emploi des chevaux, il faut tenir compte de la durée limitée du travail des animaux, qui n'est que de 8 heures environ sur 24 heures, tandis qu'une machine à vapeur peut fonctionner d'une manière permanente; dans les 24 heures, une machine de 10 chevaux effectifs peut donc exécuter le même travail que 60 chevaux, de force moyenne, qui seraient divisés en 3 relais égaux.

2^o MESURE DU TRAVAIL DES MACHINES LOCOMOTIVES. — Le travail moteur, dans une machine locomotive, est celui qu'effectue la vapeur sur les pistons; le travail utile est celui qui reste disponible au point d'attache de la machine avec le convoi qu'elle doit remorquer. — Le travail moteur peut être évalué, d'une manière approximative, dans certaines circonstances; lorsque la pression de la vapeur dans la chaudière est connue, on en déduit, au moyen de données expérimentales que nous ferons connaître ultérieurement,

la pression de la vapeur sur les pistons qu'elle met en mouvement; en multipliant cette pression par la somme des espaces parcourus par le piston pendant un temps donné, on a le nombre de kilogrammes à un mètre ou de dynamies qui mesure ce travail; et en le doublant pour tenir compte du jeu simultané des deux pistons qui travaillent à la fois dans chaque machine locomotive, on a le travail total.

Lorsqu'on veut arriver à une approximation plus grande, il faut mesurer directement la pression dans le cylindre; on y parvient au moyen d'expériences assez délicates dont nous parlerons plus tard.

Pour mesurer le travail disponible de la machine, on intercale dans son attelage, au point d'attache du premier wagon du convoi, un ressort gradué à l'avance, et à l'aide duquel on mesure l'effort de traction moyen que la machine exerce sur le convoi remorqué à sa suite; le produit de cet effort, évalué en kilogrammes, par l'espace que parcourent la machine et le convoi, exprimé en mètres, fournit la mesure du travail cherché. Nous ne donnerons pas la description de l'appareil employé, qui porte le nom de *dynamomètre*, et qui est connu de toutes les personnes qui peuvent être dans le cas de se livrer à des expériences de cette nature; nous nous contenterons de rapporter, dans un chapitre spécial, les résultats qui ont été obtenus par différents observateurs.

Le travail résistant se compose de deux éléments distincts, celui qui est dû aux résistances propres ou passives de la machine, et qui doit être surmonté avant tout, et celui qui est dû à la résistance du convoi et qui est précisément égal au travail utile, lorsque le mouvement de translation est devenu uniforme. Le travail des résistances passives de la machine est égal à la différence entre le travail moteur et le travail utile.

§ 6. — Application de la vapeur à la Locomotion.

1° THÉORIE DE LA MACHINE LOCOMOTIVE. — Une machine loco-

motive est une machine à vapeur liée à sa *chaudière* et portée sur un train de *roues*, qui lui sert tout à la fois de *support* et d'*appareil de propulsion*.

La *chaudière* se compose essentiellement d'un *foyer* intérieur, fermé à la partie inférieure par une *grille* qui porte le combustible, et enveloppé d'eau sur ses autres parois; il communique avec une série de *tubes* horizontaux, également enveloppés d'eau, dans lesquels passent les gaz provenant de la combustion pour se rendre à la *cheminée*; le tout est compris sous une enveloppe extérieure formant la *chaudière* proprement dite, qui est construite de manière à résister à une pression élevée. Le *combustible* est renouvelé dans le *foyer* par le *chauffeur* qui accompagne la machine; l'eau puisée dans le tender est renouvelée par des *pompes alimentaires* mises en mouvement par le jeu même des pièces de la machine. La production de la vapeur, qui doit être dépensée dans la *machine à vapeur* proprement dite, se trouve donc assurée d'une manière régulière et continue.

La machine à vapeur proprement dite se compose de deux *cylindres*, dans chacun desquels se meut un *piston* qui recueille le travail de la vapeur et le transmet sous la forme appropriée au service que doit faire l'appareil entier. Les deux cylindres forment deux machines à vapeur distinctes, conjuguées à angle droit sur le même arbre ou essieu moteur, mais exactement semblables et accomplissant des fonctions identiques. Chaque cylindre est fermé à ses deux extrémités par deux *plateaux*, dont l'un est percé pour laisser passer la *tige* du piston; il offre à chaque extrémité une ouverture allongée qui forme l'orifice des *lumières* ou conduits servant à l'introduction de la vapeur; les *lumières d'introduction* viennent aboutir, par deux orifices rectangulaires, à une surface plane ou table parfaitement dressée qui porte le *tiroir* de distribution. — Ce tiroir, sorte de caisse renversée en fonte, est lié à une *tige* qui sert à lui imprimer un mouvement de va et vient; il est enveloppé dans une *botte* fixée au cylindre qui est mise à volonté en communication avec la *chaudière*. — La figure de la planche 1 indique la disposition du cylindre et des différentes pièces qui viennent d'être énumérées.

Sous le tiroir, et entre les deux lumières d'introduction, vient déboucher une troisième lumière, de même longueur que les deux autres, mais plus large, qui aboutit à un tuyau de dégagement dont l'extrémité vient déboucher dans la cheminée, et qui, par conséquent, se trouve en communication avec l'atmosphère; elle reste constamment couverte par le tiroir, et sert à l'échappement de la vapeur qui a fonctionné dans le cylindre.

Lorsque les éléments de la machine sont dans la position indiquée par la figure de la planche 1, la vapeur, affluant constamment dans la boîte du tiroir, pénètre dans le cylindre par la lumière ouverte, et exerce sur le piston une pression qui met celui-ci en mouvement et le pousse vers le fond opposé du cylindre. — Si l'on suppose que, par une combinaison de mécanisme quelconque, au moment où le piston arrive à l'extrémité de sa course, le tiroir soit déplacé et vienne occuper la deuxième position indiquée par la figure, la vapeur cessera d'affluer sur la face postérieure du piston; celle qui s'y est accumulée sortira par la lumière qui servait tout à l'heure à l'introduction et s'échappera dans l'atmosphère en parcourant la lumière et le tuyau d'échappement; de l'autre côté, au contraire, la vapeur affluera sur la face antérieure du piston, et le fera rétrograder, en déterminant sur la surface une pression. Un nouveau déplacement du tiroir, que l'on ramènera à sa première position au moment où le piston arrive à la fin de la course, renversera le jeu de la vapeur, et le piston, pressé de nouveau sur sa face postérieure, reprendra son mouvement primitif. Cette simple analyse fait déjà voir comment on peut recueillir le travail emprunté à la force élastique de la vapeur et l'appliquer à donner au piston de la machine un mouvement de va et vient indéfini.

Pour produire le mouvement du tiroir en rapport avec celui du piston, et arriver, en un mot, à obtenir une machine dont le mouvement se perpétue de lui-même une fois qu'elle a été mise en train, il suffirait de relier l'extrémité de la tige qui traverse la boîte du tiroir, avec celle d'un levier dont l'autre extrémité serait frappée alternativement par des tocs placés sur la tige du piston, et ayant un écartement calculé de manière à faire coïncider le déplacement

du tiroir avec l'arrivée du piston à l'extrémité de sa course. C'est ainsi qu'étaient disposées les premières machines fixes et que le sont encore les machines d'épuisement, et beaucoup d'autres machines. — Mais, dans les machines locomotives, on a recours à une autre disposition qui constitue le mécanisme de *distribution de la vapeur*.

Le mouvement du tiroir est pris sur l'essieu moteur, qui porte les roues motrices. La tige du piston, par l'intermédiaire de la bielle, agit sur la manivelle de cet essieu moteur, et lui imprime un mouvement de rotation autour de son axe de figure; il suffit pour cela que le rayon de la manivelle soit exactement égal à la moitié de la course du piston. Lorsque le piston est à bout de course, la tige du piston, la bielle et la manivelle sont sur une même ligne droite passant par l'axe du cylindre; la manivelle est au *point mort* et peut suivre le piston dans sa course rétrograde. — Il semble, au premier abord, que la manivelle peut indifféremment continuer son mouvement de rotation ou revenir en arrière; cela aurait lieu, en effet, si l'essieu ne portait pas des roues dont la vitesse acquise ne peut pas être instantanément amortie, si le mouvement de translation de la machine elle-même, lancée à grande vitesse, ne forçait pas les roues à continuer leur mouvement de rotation, si enfin l'essieu n'était pas sollicité par les pistons des deux machines agissant sur les manivelles placées à angle droit. L'action de la vapeur transmise à l'essieu moteur a donc pour effet de lui imprimer un mouvement de rotation continu. La figure 1, planche 2, indique la relation exacte qui existe entre le mouvement du piston et de la manivelle, pour chacune des positions de celles-ci, variant de 30° en 30°, la bielle ayant exactement cinq fois la longueur du rayon de la manivelle. — Les positions que prend successivement le piston dans le cylindre ne sont pas exactement symétriques par rapport au milieu de la course totale; cela tient au peu de longueur de la bielle, qui ne peut pas être considérée comme restant toujours parallèle à elle-même dans toutes ses positions.

L'essieu, ainsi mis en mouvement par le piston, commande le tiroir de distribution au moyen d'une manivelle secondaire, d'un

petit rayon, qui imprime, par l'intermédiaire d'une bielle, un mouvement de va et vient à la tige du tiroir et au tiroir lui-même. La manivelle de distribution est disposée à angle droit avec la manivelle du piston, de telle sorte que l'une approche de la position horizontale lorsque l'autre approche de sa position verticale; lorsque le mouvement de translation du piston se ralentit pour s'arrêter et changer de sens à l'extrémité de la course, la vitesse du tiroir s'accroît pour atteindre son maximum, et *vice versa*. On conçoit, par suite, que, si le tiroir est construit de telle sorte que les deux rebords extrêmes aient une épaisseur exactement égale à la largeur des lumières, et si on règle la longueur de la tige du tiroir de telle sorte que les rebords du tiroir ferment exactement les lumières au moment où le piston arrive à l'extrémité de sa course, dès que le piston commencera son mouvement rétrograde, le tiroir démasquera la lumière qui doit livrer passage à la vapeur, et, de plus, il la démasquera très-rapidement, car il est alors dans une position très-voisine de celle qui correspond au maximum de vitesse [il serait à son maximum de vitesse si la longueur limitée de la bielle qui mène le tiroir n'occasionnait pas, dans la position de celui-ci, un défaut de symétrie semblable à celui qui se produit pour le piston].

La longueur de la manivelle qui commande le tiroir, l'écartement des lumières, l'épaisseur des cloisons qui séparent les lumières d'introduction de la lumière d'échappement, sont calculées de telle sorte que le tiroir, dans sa marche, ne puisse pas démasquer la lumière d'échappement, car la vapeur de la chaudière s'échapperait directement dans l'atmosphère.

Dans la pratique, on remplace la manivelle de distribution par une *excentrique* (fig. 2, pl. 2); cette pièce consiste en un disque de métal calé sur l'essieu dans une position excentrique, et enveloppé d'un collier qui commande la bielle de distribution, laquelle prend alors le nom de *barre d'excentrique*. Le centre du collier coïncidant toujours avec celui du disque, le mouvement de la barre d'excentrique a lieu, comme si elle était commandée par une manivelle dont le rayon serait exactement égal à la distance qui existe

entre l'axe de l'essieu et le centre du disque excentrique. On adopte cette disposition pour éviter de multiplier les coudes de l'essieu, dont l'exécution est fort difficile, et qui doit avoir une grande solidité.

Dans les machines que l'on construit actuellement, les tiroirs sont accolés verticalement ou obliquement aux cylindres, et la tige de chaque tiroir est commandée directement par l'excentrique. Lorsque les tiroirs sont placés horizontalement et au-dessus du cylindre, il est nécessaire de renvoyer le mouvement de l'excentrique, à la hauteur de la tige du tiroir, par un levier mobile autour d'un axe de rotation. On verra plus loin, dans la description détaillée des différentes parties de la machine locomotive, comment est disposé le mécanisme de la distribution dans ces différents cas; nous nous contentons ici d'exposer le principe. La fig. 3, pl. 2, a pour objet de faire voir clairement quel est le jeu relatif de ces différents éléments dans le cas où le mouvement est renvoyé par un levier. Les proportions relatives des différentes parties ont été exagérées à dessein pour rendre la figure plus intelligible; la légende suivante en donnera l'explication.

- o — Centre de la projection de l'essieu;
- oa — Circonférence décrite par la manivelle motrice;
- of — — par le centre de l'excentrique;
- aa', bb', cc', dd', ee' — Positions successives de la bielle motrice;
- ff', gg', hh' — Positions correspondantes de la barre d'excentrique;
- $f'f'', g'g'', h'h''$ — Positions correspondantes du levier de distribution;
- f''', g''', h''' — Positions correspondantes de l'extrémité de la tige du tiroir.

$a'e'$ représente l'excursion totale de la tête de la tige du piston et par suite celle du piston qui lui est attaché, $f'''h'''$ la moitié de l'excursion de la tige du tiroir et du tiroir lui-même.

Les explications qui précèdent font voir sur quel principe est

basé le jeu relatif du piston et du tiroir, et comment le mouvement indéfini de la machine est assuré, lorsque la vapeur lui est fournie en quantité suffisante par la chaudière.

Lorsque le tiroir est lié au piston par le mécanisme de la distribution, le sens du mouvement de rotation de l'essieu est fixé; il ne pourrait être changé que par l'application d'une force extérieure qui l'emporterait sur l'action de la vapeur et forcerait le piston à marcher dans le sens contraire à la direction suivant laquelle la pression de la vapeur le sollicite. Dans la pratique, il est nécessaire de faire marcher les machines tantôt en avant, tantôt en arrière. Dans les premières locomotives, on satisfaisait à cette condition en rendant l'excentrique mobile à volonté sur l'essieu et en le déplaçant de 180° pour lui donner la position correspondant à la marche en arrière; cette disposition a été changée, parce qu'elle était d'un emploi difficile pendant la marche, et pour d'autres motifs qui ressortiront plus loin. On se sert maintenant de deux excentriques distincts pour chaque cylindre, affectés l'un à la marche en avant, l'autre à la marche en arrière, et, au moyen d'un mécanisme particulier, ou appareil de *changement de marche*, on embraye à volonté la tige du tiroir avec l'une ou l'autre des barres d'excentriques.

Lorsque la transmission du mouvement de l'excentrique au tiroir a lieu directement et sans l'intermédiaire d'un levier, chaque excentrique doit être calé de telle sorte que le rayon d'excentricité précède le rayon de la manivelle dans le mouvement de rotation commun; le contraire a lieu lorsque la transmission s'opère par l'intermédiaire d'un levier qui renverse le mouvement. Les deux excentriques de la marche en avant et de la marche en arrière sont toujours opposés (1).

(1) Nous avons évité à dessein de multiplier les figures; les personnes qui ne seront pas familières avec la théorie de la machine à vapeur, pourront y suppléer facilement au moyen de tracés graphiques, qui, répétés dans un grand nombre de positions respectives du tiroir et du piston, les habitueront à se rendre nettement compte du mouvement relatif de ces organes essentiels.

Comme on l'a vu plus haut, la vapeur transmet sa pression, par l'intermédiaire du piston, à la manivelle de l'essieu moteur, et tend à faire tourner celui-ci d'une manière continue. L'essieu porté à chaque extrémité une roue qui s'appuie sur le rail et supporte une partie du poids total de la machine; les deux roues, solidaires entre elles, sont donc sollicitées par l'action combinée des deux pistons, qui équivaut à l'action d'une force permanente agissant à une distance constante de l'axe. Les roues ne pouvant *glisser* sur les rails, à cause du frottement ou de l'*adhérence*, l'action de la vapeur a pour effet de les faire *rouler* et d'imprimer à la machine entière, et au train qu'elle remorque, un mouvement de propulsion.

L'effort exercé sur l'essieu, résultant de l'action de la vapeur sur les deux pistons, n'est pas constant; mais les deux manivelles étant à angle droit, l'une d'elles est sollicitée par l'effort maximum, lorsque l'effort qui sollicite l'autre est nul; l'action exercée sur l'essieu moteur ne varie donc pas entre des limites très-écartées; le mouvement de la machine n'en est pas moins régulier; car la masse totale mise en mouvement est considérable et animée d'une grande vitesse; si la force motrice venait à cesser d'agir lorsque cette masse est lancée, son mouvement se continuerait encore longtemps avant que la vitesse fût entièrement amortie; la masse fait volant, et il en résulte que les variations dans l'intensité de la force motrice ne donnent pas lieu à des variations sensibles de vitesse.

Si l'on désigne par P la pression totale de la vapeur sur l'un des pistons, par P' la pression sur l'autre piston, par β l'inclinaison de la bielle sur l'axe du cylindre, par α celle de la manivelle sur la même ligne (*fig. de la pl. 3*), il est facile de trouver l'expression de l'effort E , exercé tangentiellement à la circonférence décrite par la manivelle. En désignant par r le rayon de la manivelle et par L la longueur de la bielle, on a, d'après les principes connus de la trigonométrie rectiligne :

$$L \sin. \beta = r \sin. \alpha$$

$$\text{d'où} \quad \sin. \beta = \frac{r}{L} \sin. \alpha. \quad \cos. \beta = \frac{1}{L} \sqrt{L^2 - r^2 \sin.^2 \alpha.}$$

La composante de la pression P dans le sens de la bielle est égale à $\frac{P}{\cos. \beta}$; elle se décompose tangentiellement à la circonférence de la manivelle en

$$P \frac{\sin. (\alpha + \beta)}{\cos. \beta} = P \left\{ \sin. \alpha + \frac{r \sin. \alpha \cos. \alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin.^2 \alpha}} \right\}.$$

Pour l'autre piston on a :

$$P' \left\{ \cos. \alpha + \frac{r \sin. \alpha \cos. \alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \cos.^2 \alpha}} \right\}$$

ou comme $P' = P$,

$$P \left\{ \cos. \alpha + \frac{r \sin. \alpha \cos. \alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \cos.^2 \alpha}} \right\}.$$

L'effort total exercé sur l'essieu tangentiellement à la circonférence de la manivelle est donc égal à :

$$E = P \left\{ \sin. \alpha + \cos. \alpha + r \sin. \alpha \cos. \alpha \left(\frac{1}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin.^2 \alpha}} + \frac{1}{\sqrt{L^2 - r^2 \cos.^2 \alpha}} \right) \right\}.$$

La valeur de E atteint son minimum lorsque $\alpha = 0^\circ$, et la valeur maximum lorsque $\alpha = 45^\circ$;

On a dans le premier cas : $E = P$

$$\text{et dans le second : } E = P \left\{ 2 \sqrt{\frac{1}{2}} + \frac{1}{\sqrt{25 - \frac{1}{2}}} \right\} = 1.616 P.$$

La variation de l'effort transmis par la vapeur à l'essieu moteur varie donc seulement dans le rapport de 1 à 1,616.

Le travail moteur de la vapeur sur chaque piston est mesuré par le produit de la pression totale, exprimée en kilogrammes, par l'espace parcouru par le piston; pour chaque tour de roue, le piston parcourt deux fois la longueur du cylindre, ou un espace égal à quatre fois le rayon de la manivelle; le travail moteur pour chaque piston est donc égal à $4 Pr$, et pour l'ensemble des deux cylindres à $8 Pr$.

Ce travail moteur, abstraction faite des frottements intérieurs du mécanisme, est transmis en entier à l'essieu moteur. Le travail résistant est le produit des résistances de toute espèce, qui

s'opposent au mouvement de déplacement de la machine et du train qu'elle remorque (résistances que l'on peut supposer toutes ramenées à un effort résultant T parallèle à l'axe de la machine), multipliées par l'espace parcouru par la machine elle-même. Si l'on désigne par R le rayon des roues motrices, ce travail résistant est égal, pour une révolution complète des roues motrices, à $T 2 \pi R$; il est égal, d'un autre côté, au travail moteur de la vapeur qu'il absorbe en entier, lorsque le mouvement est devenu uniforme; on a donc

$$T 2 \pi R = 8 Pr \text{ d'où } P = \frac{T \pi R}{4 r}.$$

Si l'on désigne par p la pression effective de la vapeur sur un centimètre carré, par d le diamètre du piston en centimètres, par D le diamètre des roues motrices, par l la course du piston, on aura

$$P = \frac{\pi d^2}{4} p, l = 2r, D = 2R \text{ et } T = p \frac{d^2 l}{D}.$$

Cette dernière expression établit la relation qui existe entre la pression de la vapeur exprimée en kilogrammes par centimètre carré et la résistance totale qu'elle est appelée à surmonter.

Il résulte, en outre, des formules qui précèdent que la résistance totale au mouvement peut être assimilée à une force agissant tangentiellement à la circonférence des roues motrices.

2° AVANCE ET RECOUVREMENT. — Nous avons dit plus haut que l'épaisseur des bords du tiroir devait être égale à la largeur des lumières, de manière à ce qu'elles fussent fermées exactement toutes les deux, lorsque le tiroir était au milieu de sa course, c'est-à-dire au moment où le piston, arrivant à l'extrémité de la course, s'arrêtait pour reprendre son mouvement en sens contraire; c'est, en effet, comme cela que les premiers tiroirs ont été établis; mais l'expérience a conduit à faire subir à cette disposition une modification très-simple, qui a exercé une influence très-importante sur la marche des machines. Quelle que soit la précision qui ait présidé au montage de la distribution, il y a toujours

un peu de jeu dans les pièces, surtout lorsqu'elles sont fatiguées par un certain temps de service; le tiroir, soumis à une pression très-forte, exerce un frottement considérable sur la table qui le supporte; les pièces qui le tirent et le poussent alternativement, prises dans leur ensemble, s'allongent ou se raccourcissent sous l'action de la résistance due au frottement. Il en résulte, dès que le jeu des pièces est un peu notable, que le tiroir est effectivement en retard sur la position qu'il devrait occuper théoriquement; d'un côté, il ne démasque pas assez tôt la lumière qui doit donner accès à la vapeur, et le piston, entraîné par la manivelle, s'avance en faisant le vide; de l'autre côté, la lumière reste ouverte, en communication avec la boîte du tiroir, au lieu d'être en communication avec le tuyau d'échappement, et la vapeur continue à affluer sur le piston qui la refoule dans la chaudière. Pendant tout le temps que le tiroir reste en arrière de sa position normale, il en résulte un travail résistant au lieu du travail moteur que devrait développer la vapeur. Le retard du tiroir peut aller jusqu'à 4 à 5 millimètres; on remédie à cet inconvénient, en donnant dans le montage une *avance* correspondante au tiroir; il suffit pour cela de décaler l'excentrique d'un certain nombre de degrés, de lui donner une *avance angulaire*, calculée de manière à produire dans la position du tiroir sur sa table une *avance linéaire* de 4 à 5 millimètres. Cette simple modification dans le calage de l'excentrique suffit pour augmenter d'une manière très-remarquable la puissance des machines et la vitesse qu'elles sont susceptibles de prendre.

L'expérience a fait voir qu'il ne suffisait pas d'apporter cette modification aux machines, pour en obtenir les meilleurs résultats possibles; la vapeur, qui remplit le cylindre au moment où le piston arrivé à la fin de sa course prend son mouvement rétrograde, ne peut pas s'échapper instantanément dans l'atmosphère; la lumière ne s'ouvre que graduellement et ne laisse passer que successivement la vapeur dont le volume augmente par suite de la diminution de pression. Cet écoulement est d'autant plus difficile que la vitesse du piston est plus considérable; il en résulte une *contre-*

pression qui, lorsqu'elle dépasse une certaine limite, absorbe en pure perte une partie du travail moteur, et qu'il importe de réduire autant que possible. On a été conduit, pour remédier à cet inconvénient, à augmenter encore l'avance du tiroir en décalant l'excentrique d'une plus grande quantité, de manière à faire commencer le dégagement de la vapeur un peu avant la fin de la course du piston; de telle sorte que, lorsqu'il commence sa course rétrograde, une grande partie de la vapeur soit déjà sortie du cylindre. Cette pratique a eu encore pour avantage de donner une certaine avance à l'admission, de telle sorte que la vapeur, qui subit une condensation plus ou moins considérable, lorsqu'elle commence à pénétrer dans le cylindre, ait pu atteindre toute sa pression au moment où le piston reprend sa course. L'avance à l'admission doit être très-faible, tandis que l'avance à l'échappement doit être assez considérable. Pour satisfaire à cette double condition, on décale l'excentrique de toute la quantité qui est nécessaire pour produire l'avance linéaire à l'échappement, et on réduit à la limite convenable l'avance à l'admission en élargissant extérieurement les bords du tiroir, leur donnant ainsi un certain *recouvrement* sur les lumières.

Telle est l'origine des dispositions essentielles qui ont constitué l'un des perfectionnements les plus importants de la machine à vapeur en général, et particulièrement de la machine locomotive. Ce résultat n'a pas été obtenu d'une manière aussi simple que peuvent le faire supposer les explications qui précèdent: ce ne sont pas précisément les considérations dans lesquelles nous sommes entrés pour rendre l'explication du fait plus simple qui ont guidé les praticiens; tout le monde n'est peut-être même pas d'accord avec nous sur le but véritable de l'avance et du recouvrement. Quelques personnes ont pensé, par exemple, qu'il ne fallait donner qu'une faible avance à l'échappement, et ont donné du *recouvrement intérieur*; il n'en est pas moins constant que lorsqu'on cherche à se rendre compte de ce qui se passe, c'est à l'explication que nous venons de donner qu'il faut s'arrêter.

On ne s'est pas contenté, dans l'application de l'avance et du

recouvrement, de s'en tenir aux limites nécessaires pour obtenir les effets dont nous avons signalé l'importance; on l'a poussée plus loin, mais dans un but distinct que nous allons faire connaître.

3° DÉTENTE FIXE ET VARIABLE. — Nous avons supposé, dans ce qui précède, que la vapeur entrât dans le cylindre pendant toute la course du piston; de telle sorte que le volume de vapeur dépensé fût égal au volume engendré par le piston; mais pour tirer de la vapeur le plus grand parti possible, il convient de la faire travailler par *détente* ou *expansion*. — Si l'on suppose que, par une disposition quelconque, l'introduction de la vapeur soit interceptée, lorsque le piston a déjà effectué une partie de sa course, lorsqu'il est à moitié, par exemple, pendant le reste de la course, la quantité de vapeur restant constante, elle se dilatera en augmentant de volume jusqu'au moment où, le piston arrivant à l'extrémité du cylindre, elle commencera à s'échapper dans l'atmosphère. Si la pression initiale de la vapeur est suffisamment élevée, elle conservera, pendant toute la période de la détente, une pression supérieure à la pression atmosphérique, et produira encore, par l'excès de sa propre pression, un certain travail utile, qui s'ajoutera à celui qu'elle a produit pendant la première partie de la course.

Pour calculer le travail de la vapeur pendant la détente, on suppose ordinairement que la dilatation de la vapeur dans le cylindre a lieu suivant la loi de Mariotte; cette hypothèse n'est pas rigoureusement exacte; car il faudrait tenir compte de la variation de température que la vapeur éprouve; il faudrait de plus démontrer l'exactitude de la loi de Mariotte elle-même appliquée à la vapeur d'eau, et tout semble indiquer, au contraire, qu'elle n'est qu'approximative. Quoiqu'il en soit, l'expérience démontre, qu'en fait, la décroissance de la pression pendant la détente ne s'écarte pas beaucoup de celle que donnerait la loi de Mariotte; nous nous en tiendrons donc à cette hypothèse, qui est suffisamment approchée, surtout pour les machines locomotives.

Cela posé, si l'on désigne par p la tension de la vapeur, expri-

mée en kilog. par centimètre carré, pendant qu'elle afflue dans le cylindre (l'expérience a démontré que cette pression restait sensiblement constante pendant toute l'admission), par p' la valeur moyenne de la pression résistante absolue qui s'exerce derrière le piston, par l la course totale du piston, par d son diamètre en centimètres, par l' la portion de la course pendant laquelle la détente a lieu, on a pour l'expression du travail moteur de la vapeur, pendant l'oscillation simple du piston ou pendant une demi-révolution des roues motrices :

$$\frac{\pi d^2}{4} p (l - l') \left\{ 1 + 2,303 \log. \frac{l}{l - l'} \right\}.$$

On a d'un autre côté, pour le travail résistant: $\frac{\pi d^2}{4} p' l$.

Le travail utile de la vapeur est donc égal à :

$$\frac{\pi d^2}{4} \left\{ p (l - l') \left(1 + 2,303 \log. \frac{l}{l - l'} \right) - p' l \right\} (1).$$

Pour apprécier les effets de la détente, nous ferons momentanément abstraction de la résistance derrière le piston. Si l'on suppose que la vapeur soit dépensée à une pression constante et que le poids de la vapeur dépensée reste lui-même constant, quel que soit le degré de détente, ce qui revient à considérer un

(1) Si l'on désigne par λ la distance du piston à l'origine de la course, à un point quelconque de la période de détente, par q la tension correspondante de la vapeur, le travail moteur élémentaire pendant la détente sera

$$\frac{\pi d^2}{4} \pi d \lambda \text{ et le travail total pendant la détente } \frac{\pi d^2}{4} \int_{l-l'}^l q d \lambda, \text{ or comme}$$

$$q = \frac{p (l-l')}{\lambda}, \text{ on a: } \frac{\pi d^2}{4} p (l-l') \int_{l-l'}^l \frac{d \lambda}{\lambda} = \frac{\pi d^2}{4} p (l-l') \log. e \log. \frac{l}{l-l'},$$

le travail total de la vapeur sera donc égal à

$$\frac{\pi d^2}{4} p (l-l') \left\{ 1 + 2,303 \log. \frac{l-l'}{l} \right\}.$$

cylindre de course constante dont le diamètre augmente, au fur et à mesure que la longueur de l'admission diminue, le facteur commun $\frac{\pi d^2}{4} p (l - l')$, qui est proportionnel au poids de vapeur dépensée, restera également constant; le seul élément variable sera le rapport $\frac{l}{l - l'}$ qui deviendra d'autant plus grand que le terme $l - l'$ sera plus petit, c'est à dire que la détente aura lieu pendant une plus grande fraction de la course. Le tableau suivant montre comment varie la quantité de travail moteur qu'un poids constant de vapeur est susceptible de produire, à pression constante, lorsque l'expansion de la vapeur devient de plus en plus considérable :

$\frac{l'}{l}$	$\frac{l}{l - l'}$	$(1 + 2.305 \log. \frac{l}{l - l'})$
0	1	1.00
0.1	$\frac{10}{9}$	1.105
0.2	$\frac{10}{8}$	1.225
0.5	$\frac{10}{7}$	1.357
0.4	$\frac{10}{6}$	1.511
0.5	$\frac{10}{5}$	1.695
0.6	$\frac{10}{4}$	1.916
0.7	$\frac{10}{3}$	2.204
0.8	$\frac{10}{2}$	2.609
0.9	10	3.305

Les résultats numériques compris dans ce tableau font voir tout

le parti que l'on peut obtenir de la détente, soit pour économiser la dépense de vapeur et de combustible dans une machine donnée, soit pour augmenter sa puissance sans modifier les conditions de la vaporisation.

L'application de la détente aux machines locomotives a en outre pour résultat d'amoinrir la résistance derrière le piston, en diminuant la quantité de vapeur qui doit s'écouler dans un temps donné par des orifices et par des conduits d'une section déterminée.

On a vu précédemment que, pour faciliter l'introduction de la vapeur dans les cylindres et son émission, il convenait de donner de l'avance au tiroir, en proportion plus forte pour l'échappement que pour l'admission, ce qui conduisait à donner au tiroir du recouvrement extérieur. — Si l'on cherche à se rendre compte du mouvement du tiroir, en construisant une épure (fig. de la pl. 4) qui laisse la trace de ses positions successives en rapport avec la position et la dimension des lumières et avec le mouvement du piston, on reconnaît facilement que l'application du recouvrement extérieur a pour résultat de produire la détente de la vapeur pendant une petite partie de la course; en augmentant l'avance et le recouvrement, on arrive à détendre pendant une partie très-notable de la course. Cette figure représente le règlement adopté pour la distribution dans les anciennes machines à voyageurs du chemin de fer du Nord.

Les éléments de la distribution sont les suivants :

Course du piston	0 ^m 560
Course du tiroir	0 110
Ecartement des bords extérieurs des lumières d'admission	0 196
Ecartement des bords intérieurs des lumières d'admission	0 116
Avance angulaire	30°
Recouvrement extérieur de chaque côté	0 024
— intérieur	0 001
Avance linéaire à l'admission	0 005
— — à l'échappement	0 028

(Les nombres qui expriment l'avance angulaire et linéaire sont établis dans la supposition que les pièces de la distribution sont rigides et n'ont pas de jeu; en réalité il y a jeu et flexibilité, ce qui modifie les résultats fournis par la discussion de l'épure; nous supposons néanmoins que les choses se passent comme l'indique le tracé graphique.)

La figure donne :

1° Le tracé de la circonférence décrite par la manivelle de l'esieu moteur (une flèche indique le sens du mouvement);

2° La division de cette circonférence de 15° en 15° et les positions correspondantes du piston, le mouvement de celui-ci étant supposé symétrique, ou, ce qui revient au même, la bielle motrice étant supposée d'une longueur infinie;

3° La position du rayon d'excentricité avancé de 30° sur sa position normale;

4° La circonférence décrite par le rayon d'excentricité, divisée de 15° en 15° en concordance avec la division de la circonférence décrite par la manivelle motrice;

5° Le plan des lumières d'admission et d'échappement;

6° Le profil du tiroir et sa position sur les lumières aux deux extrémités de la course du piston;

7° Une série de courbes indiquant la marche du tiroir en concordance avec celle du piston. (Ces courbes ont pour abscisses les distances parcourues par le piston à partir de l'origine de sa course, et pour ordonnées les distances parcourues par les bords intérieurs et extérieurs du tiroir à partir de leur position initiale.)

Les courbes qui indiquent la marche des bords du tiroir étant tracées à partir de la position initiale du tiroir, les points où elles viennent rencontrer la trace des bords des lumières sont précisément les points de la course du piston où elles viennent démasquer ou fermer les lumières; ces courbes indiquent en outre de quelle quantité les lumières d'admission sont ouvertes pour chaque position du tiroir pendant l'admission.

Ce tracé graphique montre :

1° Que l'introduction de la vapeur commence un instant avant que le piston soit arrivé à l'extrémité de la course pour reprendre son mouvement rétrograde;

2° Que la vapeur est introduite sur une portion de la course du piston, à partir de son origine, égale à... 0^m 438

3° Que la détente a lieu sur une longueur mesurée jusqu'à la fin de la course du piston, égale à..... 0 122

4° Que l'échappement commence lorsque le piston a encore à parcourir..... 0 034

5° Que l'échappement est fermé et que la vapeur se comprime, derrière le piston, sur une longueur de... 0 042

La détente a donc lieu pendant $\frac{122}{560}$, ou environ $\frac{1}{5}$ de la course.

La compression qui a lieu par suite de l'interruption de l'échappement, avant la fin de la course, est favorable à l'économie de vapeur lorsqu'elle n'est pas exagérée, car le piston ne vient pas s'appliquer exactement contre les fonds du cylindre, il reste toujours un certain *espace nuisible*, qui s'augmente du volume de la lumière d'introduction; cet espace nuisible doit être, avant tout, rempli de vapeur à la pression de la chaudière, et cette vapeur est perdue sans rendre de service; en remplissant l'espace nuisible par la compression de la vapeur qui reste dans le cylindre au moment où l'échappement est fermé, on réduit d'une quantité correspondante la dépense de la vapeur, sans produire une résistance sensible au mouvement du piston.

La détente ainsi produite par avance et recouvrement est la *détente fixe* des machines locomotives. — On la pousse généralement au tiers, et quelquefois même jusqu'à moitié, mais alors on crée une difficulté de service en rendant le démarrage plus difficile; en effet, les tiroirs prennent des dimensions très-grandes et sont soumis au départ à une pression considérable qui peut gêner le mouvement de la machine, mais on est exposé surtout à ce que l'un des cylindres soit fermé à l'accès de la vapeur, lorsque dans

l'autre cylindre le piston est près de l'extrémité de la course et n'exerce plus sur la manivelle qu'un effort très-réduit, par suite du peu d'amplitude de l'angle que fait la bielle motrice avec la manivelle. — Lorsque la détente fixe est réglée à moitié, il faut presque toujours aider à la mise en train, en agissant avec une pince sur les roues de la machine ou du tender.

La *détente variable* se produit au moyen d'appareils de distribution qui permettent de faire varier, pendant la marche de la machine, la portion de la course pendant laquelle la vapeur est admise. On a cherché, dans les machines locomotives, à rendre, comme dans les machines fixes, la détente variable à volonté, au moyen de deux et même de trois tiroirs superposés dont on fait varier la course relative. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce sujet; mais nous devons dire dès à présent qu'aucun des systèmes proposés n'est devenu d'un emploi général; ce résultat, qui peut paraître étonnant au premier abord, doit être attribué à ce fait que les frottements des tiroirs à détente variable, comparés aux tiroirs simples, absorbent une portion plus notable de la puissance motrice, en même temps que la complication plus grande du mécanisme occasionne des réparations plus fréquentes et plus dispendieuses, de telle sorte que les avantages théoriques incontestables d'un système proprement dit de détente variable semblent disparaître en présence des inconvénients pratiques de son application. Nous nous abstenons, du reste, d'émettre une opinion formelle à ce sujet, attendu que nous manquons d'expériences comparatives faites dans des conditions assez sûres pour arrêter un jugement définitif.

On produit encore la variation de la détente avec moins de régularité et avec moins d'étendue, à la vérité, qu'en employant deux tiroirs, en appliquant à la distribution ordinaire à deux excentriques et à un seul tiroir une disposition simple, qui a, en outre, l'avantage d'être une amélioration du mécanisme destiné à opérer le changement de marche. Nous voulons parler de la *coulisse de Stephenson* dont l'usage est devenu exclusif. — C'est une détente variable assez imparfaite au point de vue théorique, mais très-

convenable pour l'application; cette disposition sera l'objet d'une description détaillée; nous n'insistons donc pas en ce moment sur ce sujet.

Le but de la détente variable, lorsqu'on l'applique aux machines locomotives, est de faire varier le volume et le poids de vapeur dépensée, en raison du travail moteur à développer suivant la charge des convois, leur vitesse, le profil du chemin, l'état de l'atmosphère, etc., circonstances qui varient d'un instant à l'autre pendant la marche, de telle sorte que la vapeur ne soit jamais employée qu'à haute pression pendant toute la période d'admission.

4° VAPORISATION ET TIRAGE. — Nous n'avons pas insisté jusqu'ici sur la production de la vapeur; tout le monde sait en quoi consiste une chaudière; nous donnerons plus loin la description détaillée de celles qu'on emploie dans les locomotives. Nous signalons seulement la disposition adoptée pour activer la combustion du foyer, et obtenir d'une chaudière de proportions relativement très-restreintes une production considérable de vapeur. — Pour cela on fait échapper la vapeur qui a travaillé dans les cylindres, à la base de la cheminée en tôle qui surmonte la boîte à fumée et fait suite aux tubes à air chaud. Chaque fois que le mouvement de l'un des deux tiroirs vient mettre la capacité du cylindre, pleine de vapeur, en communication avec le tuyau d'échappement, la vapeur se dégage dans la cheminée avec une vitesse qui décroît au fur et à mesure que le cylindre se vide et que la tension de la vapeur dilatée diminue. — Le tuyau d'échappement, à partir d'un point plus ou moins voisin de son orifice, est commun aux deux cylindres, de telle sorte que, pour chaque tour des roues motrices, quatre échappements successifs de vapeur ont lieu dans ce tuyau et par suite dans la cheminée, avec une très-grande vitesse au commencement et avec une vitesse décroissante pendant le reste du temps; il sort donc par l'orifice du tuyau d'échappement un jet de vapeur qui, à quatre instants distincts très-rapprochés, également espacés si la machine est bien réglée, acquiert brusquement et momentanément une très-grande vitesse. La vapeur, s'échap-

pant ainsi dans la cheminée, détermine, dans la boîte à fumée et, par suite, dans les tubes et dans le foyer, une très-forte aspiration qui fait passer à travers la masse de combustible placé sur la grille la quantité d'air nécessaire à une active combustion.

L'action exercée sur le tirage par l'échappement de la vapeur est évidente; mais on ne s'est pas toujours mis d'accord sur la cause de cette action; quelques personnes ont vu là un effet analogue à celui qu'on obtient dans les machines fixes en lâchant un jet continu et uniforme de vapeur dans la cheminée, ou, sous la grille, dans un tube par lequel on fait passer l'air qui alimente la combustion, le courant rapide de vapeur n'ayant d'autre effet que d'entraîner, par voie de frottement, les gaz chauds ou l'air au milieu desquels cette vapeur s'écoule avec une très-grande vitesse.—D'autres personnes ont pensé que la vapeur s'échappant, d'une manière discontinue et par bouffées, poussait devant elle l'air en mouvement dans la cheminée, et remplissait en quelque sorte l'office d'un piston faisant le vide par aspiration. Il est certain que ces deux causes concourent à produire le même effet; on sait, en effet, qu'un jet continu de vapeur, dans la cheminée d'une machine fixe, active le tirage, et, d'un autre côté, on a remarqué que tout ce qui avait pour résultat de rendre l'échappement plus saccadé, ce que l'on reconnaît facilement, dans les locomotives, au bruit sec que fait la vapeur en s'échappant dans la cheminée, augmentait l'activité de la vaporisation et, par suite, du tirage, dans les machines locomotives.

Un des grands perfectionnements apportés à la construction des machines locomotives a consisté à rendre variable à volonté l'orifice du tuyau d'échappement; en réduisant la vitesse d'écoulement de la vapeur on diminue le tirage; cela permet de le proportionner à l'état de la combustion et à la dépense de vapeur dans les cylindres, la contre-pression derrière les pistons diminue également, et l'effet utile de la vapeur augmente.

On doit apporter dans la construction des machines locomotives une attention spéciale à remplir toutes les conditions propres à rendre la production de vapeur énergique, et à la mettre en rap-

port avec la dépense qui doit être faite dans les cylindres. On doit avant tout donner à la chaudière des dimensions et une surface de chauffe en rapport avec le travail qu'elle doit effectuer, et avec la nature du combustible qu'elle doit brûler; on doit, en outre, s'appliquer à combiner l'échappement, de manière à obtenir le tirage le plus actif avec la contre-pression la plus faible possible. Une machine construite étant donnée, le mécanicien qui la conduit doit apporter le plus grand soin à maintenir la vaporisation au degré d'activité convenable, et à maintenir la vapeur produite dans la chaudière à une tension aussi élevée que possible. C'est de l'ensemble de ces précautions que dépend le bon service de la machine. Si le mécanicien a laissé tomber la tension de la vapeur, au moment où la machine doit exercer un effort de traction considérable, il ne peut pas obtenir sur les pistons la pression nécessaire, et, de plus, la vapeur qui s'échappe, n'ayant qu'une faible tension, ne produit pas un tirage suffisant; par cela même que l'activité de la vaporisation est insuffisante, cette activité ne peut pas être augmentée, et souvent elle diminue. Un mécanicien, qui part avec un feu mal allumé, avec une tension insuffisante, ou qui néglige en route la conduite du feu et laisse baisser la pression, se trouve, en quelque sorte, enfermé dans un cercle vicieux, dont il ne peut que difficilement sortir. Le même effet se produit lorsque les dimensions de la chaudière sont trop faibles pour la capacité des cylindres, lorsque l'échappement est mal disposé ou lorsque le combustible est de mauvaise qualité.

Indépendamment des difficultés que présente la conduite de la machine, lorsque la tension de la vapeur ne peut pas être maintenue à un degré assez élevé, il y a tout avantage, dans les machines sans condensation, à employer la vapeur à haute pression; car l'effet utile d'un même poids de vapeur est d'autant plus considérable que la tension est plus élevée au début de son action. Cela résulte de ce qu'il faut, de la pression absolue de la vapeur qui varie, retrancher une quantité constante qui représente la pression de l'atmosphère, et qui exerce une influence d'autant plus nuisible que la vapeur a une tension plus voisine de la pression atmosphé-

rique. C'est ce qui résulte du tableau suivant, dans lequel nous avons indiqué le travail qui peut être obtenu d'un kilogramme de vapeur, pour diverses pressions effectives, en recherchant quelle course peut effectuer un piston de diamètre constant sous l'action d'un poids constant de vapeur, et, par suite, le travail utile de la vapeur.

TABEAU

DU TRAVAIL UTILE DE LA VAPEUR, A POIDS ÉGAL ET SOUS DIFFÉRENTES TENSIONS.

TENSION absolue en atmosphères.	PRESSION effective.	VOLUME engendré par un kilogramme de vapeur.	COURSE du piston de diamètre constant. (Rapport.)	TRAVAIL utile de la vapeur. (Rapport.)
atm.	atm.			
1	0	1689,19	1,805	0
2	1	891,26	1,000	1,000
3	2	614,20	0,689	1,378
4	3	471,92	0,529	1,578
5	4	381,90	0,451	1,724
6	5	326,15	0,567	1,855
7	6	285,57	0,518	1,908
8	7	251,19	0,281	1,967

L'expérience a conduit à augmenter de plus en plus la tension de la vapeur dans les chaudières des machines locomotives; de 4^{me} on est arrivé successivement jusqu'à 8^{me} et au delà.

5°. CALCUL DE L'EFFET DES MACHINES LOCOMOTIVES.—Nous avons indiqué plus haut comment se calculait le travail utile de la vapeur dans les machines locomotives, lorsque la pression sur les deux faces du piston et le règlement de la distribution étaient connus.— Lorsque la machine travaille à pleine pression, c'est-à-dire lorsque le régulateur, ouvert en grand, ne gêne pas le passage de la vapeur, de la chaudière aux cylindres, il existe encore une certaine

différence de pression entre la chaudière et les cylindres. Cette différence dépend uniquement de la résistance due à l'écoulement du fluide à travers la conduite qu'il parcourt; elle varie avec la dimension et la forme des tuyaux de prise de vapeur et des lumières, et des différents orifices intercalés sur le passage de la vapeur; elle varie également avec la quantité d'eau entraînée par la vapeur. Cette différence de pression ne peut être évaluée que par des expériences malheureusement trop peu nombreuses pour que la question soit résolue au point de vue pratique. — On a cherché à établir un rapport entre la charge remorquée, la vitesse et la tension de la vapeur dans les cylindres; le seul rapport à établir est celui que nous avons indiqué entre la tension dans la chaudière, ou mieux dans la boîte du tiroir, et la tension dans le cylindre, entre lesquels il y a, nous venons de le dire, une réduction due au passage de la vapeur dans une conduite sinueuse et de forme tourmentée, qui peut varier avec la quantité de fluide à écouler dans un temps donné, mais qui varie surtout avec sa nature et sa densité. — Si la tension de la vapeur dans le cylindre est plus forte que ne le comporte la résistance à surmonter, la vitesse s'accélère jusqu'à ce que le travail, dû aux résistances de toute nature qui croissent très-rapidement avec la vitesse, soit égal au travail moteur de la vapeur. La théorie est extrêmement simple; il ne manque que des faits bien constatés pour déterminer les coefficients pratiques qui doivent entrer dans les calculs numériques.

La résistance derrière le piston résulte principalement de la contre-pression de la vapeur, qui ne peut pas s'échapper instantanément, dont la tension conserve, dès que la vitesse est un peu grande, une valeur notablement supérieure à la pression de l'atmosphère, et qui, dans aucun cas, ne peut être inférieure à cette pression. Cet excès de tension de la vapeur qui s'échappe est dû au frottement de la vapeur dans les lumières et dans le tuyau d'échappement, et à la résistance des gaz chauds venus du foyer qu'elle entraîne dans la cheminée; elle est d'autant plus grande qu'il y a nécessairement condensation de vapeur dans les cylindres, et, par suite, mélange d'eau et de vapeur, ce qui augmente la résistance

à l'écoulement. La résistance de la vapeur derrière le piston ne peut être mesurée que par des recherches expérimentales.

Il faut tenir compte également des résistances créées par les frottements du mécanisme, par le roulement des roues sur les rails, par la résistance de l'air; ces éléments ne peuvent être déterminés que par l'expérience. Nous indiquerons, dans un chapitre spécial, ce qui a été fait à ce sujet; nous nous contentons ici de poser des principes.

LIVRE II.

DESCRIPTION DE LA MACHINE LOCOMOTIVE.

CHAPITRE I.

Aperçu général sur les divers systèmes de machines locomotives.

Nous avons, à la fin du livre précédent, indiqué les principes sur lesquels repose la construction de la machine locomotive; avant d'arriver à la description et à l'examen pratique de chacune des pièces, il nous reste à faire faire un pas de plus à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas déjà familiers avec le sujet que nous traitons. Nous avons à faire connaître plus en détail la disposition et la fonction des organes essentiels de la machine, à définir les éléments qui la composent, à tracer en quelque sorte un programme dans lequel viendront s'encadrer tous les faits dont la description forme l'objet du présent livre: nous avons en outre à jeter un coup d'œil sur les différents systèmes de machines en usage, sur les dispositions qui les caractérisent, sur l'usage auquel on les applique.

En procédant ainsi nous nous exposons à des redites inévitables, mais nous avons pensé que le meilleur moyen de faciliter l'étude d'une question de cette nature consistait à ne présenter que successivement les difficultés, plutôt que de les aborder immédiatement et dans leur ensemble.

§ 1er. — Description sommaire de la machine locomotive.

Une machine locomotive se compose de trois parties bien distinctes, *l'appareil de vaporisation* ou la *chaudière*, *l'appareil moteur* ou le *mécanisme*, le *véhicule* ou le *châssis* et les *supports*.

1^o APPAREIL DE VAPORISATION. — La chaudière se compose essentiellement d'un *foyer intérieur*, de *tubes à air chaud*, d'une *enveloppe extérieure* ou *chaudière proprement dite*, d'une *boîte à fumée* et de la *cheminée*; elle comprend en outre des pièces accessoires qui en font partie intégrante.

Le *foyer* des machines ordinaires jusqu'ici construites (pl. 5, 6, 7 et 8) se compose d'une caisse renversée, de forme parallépipédique, formée par l'assemblage de feuilles de cuivre; à la partie inférieure, il reçoit la *grille* qui supporte le *combustible*; l'une des parois, celle qui se trouve placée vers l'arrière de la machine, est percée d'une ouverture, fermée par une *porte*, qui sert à l'introduction du combustible; la paroi opposée, qui reçoit le nom de *plaque tubulaire*, est percée de trous dans lesquels s'engagent les tubes à air chaud, qu'on y fixe au moyen de *bagues* ou de *viroles*. Le *ciel* ou le *plafond* du foyer est soutenu par des *armatures* en fer qui l'empêchent de céder sous l'énorme pression, qu'il supporte. Les parois latérales planes sont reliées, par une série d'*entretroises*; avec l'enveloppe extérieure, et, par suite, mises en état de résister à la pression de la vapeur. — Le foyer intérieur reçoit encore le nom de *boîte à feu*.

L'enveloppe extérieure, ou la chaudière proprement dite, comprend: la *boîte à feu extérieure* ou l'enveloppe extérieure du foyer, le *corps cylindrique*, ou l'enveloppe extérieure des tubes, et le *dôme de prise de vapeur* (pl. 5, 6, 7 et 8).

L'enveloppe extérieure du foyer épouse les formes de celui-ci dans sa partie moyenne et inférieure, et les parois correspondantes de l'un et de l'autre sont reliées par des *entretroises*; la partie supérieure se termine le plus ordinairement par une portion de

cylindre qui se raccorde tangentiellement avec les deux parois latérales.

L'enveloppe extérieure des tubes est un cylindre généralement à base circulaire, quelquefois à base elliptique ou ovale; elle est fermée, vers l'avant de la machine, par une seconde plaque tubulaire qui reçoit l'extrémité des tubes à air chaud opposée au foyer, et qui forme en même temps l'une des parois de la boîte à fumée. La plaque tubulaire de la boîte à fumée, et celle du foyer, sont reliées par les tubes qui forment entretroises; à la partie supérieure, la plaque tubulaire de la boîte à fumée est entretroisée, par des *tirants* en fer, avec la face postérieure de la boîte à feu extérieure, ou bien ces parties planes sont simplement consolidées, sans tirants, par des armatures analogues à celles du ciel de foyer. Toutes les parties de la chaudière sont donc combinées pour résister à la pression de la vapeur, soit parce qu'elles ont des formes cylindriques à base circulaire, soit parce qu'elles sont soutenues par des armatures et par des entretroises ou tirants.

Le *dôme de prise de vapeur*, recevait souvent, il y a une dizaine d'années, la forme indiquée fig. 1, pl. 5. Aujourd'hui il se compose d'un tronc de cylindre surmonté d'une calotte sphérique; il est placé sur le corps cylindrique ou sur la portion de cylindre qui recouvre le foyer (fig. 1, pl. 6; fig. 1, pl. 7; pl. 54 à 60, 64, 69, 72).

Toute la chaudière est elle-même entourée d'une *enveloppe* destinée à la préserver du refroidissement.

La *boîte à fumée* reçoit les gaz chauds produits par la combustion et sortant des tubes; elle est surmontée par la cheminée, et elle sert en outre à loger diverses pièces dont nous parlerons plus tard. Elle est garnie d'une porte pour le nettoyage, la pose et la réparation des tubes et de diverses autres pièces. Les règlements de police prescrivent d'intercaler sur le parcours des gaz chauds un treillis métallique qui arrête les fragments de coke incandescent, qui peuvent être entraînés à l'extérieur et occasionner des incendies, soit sur le convoi lui-même, soit sur les talus et aux abords du chemin de fer; la disposition la moins nuisible au tirage consiste à placer dans la boîte à fumée, immédiatement

au-dessus des tubes, une *grille* qui arrête les escarbilles. On pratique généralement sur le côté de la boîte à fumée une ouverture fermée par un *registre*, que le mécanicien peut manœuvrer pendant la marche pour régler le tirage. On pratique aussi, lorsque la disposition de la machine le permet, à la partie inférieure de la boîte à fumée, une petite ouverture fermée par une *porte*, pour faire sortir les cendres et les escarbilles qui ne tardent pas à s'y accumuler après un certain temps de service.

La *cheminée* se compose d'un cylindre en tôle (fig. 1, 2 et 3, pl. 9, 54 et suiv.), qui surmonte la boîte à fumée. On dispose généralement un *clapet* ou *capuchon* au moyen duquel on peut fermer la cheminée pour détruire le tirage pendant que la machine est en stationnement. Pendant longtemps on a placé, à la partie supérieure de la cheminée, le treillis métallique destiné à empêcher la projection des escarbilles.

Parmi les *pièces accessoires qui dépendent de la chaudière*, on doit distinguer le *tuyau de prise de vapeur*, qui conduit la vapeur aux cylindres; le *régulateur*, qui est placé à l'origine du tuyau de prise de vapeur ou sur son parcours et qui sert à régler l'introduction de la vapeur dans les cylindres; le *cenétrier*, boîte ou surface en tôle placée au-dessous du foyer pour retenir les escarbilles qui tombent à travers la grille, et souvent garnie sur le devant d'une porte à charnière ou d'un clapet, qui sert comme moyen supplémentaire pour régler le tirage; les *souppes de sûreté*, que l'on dispose au nombre de deux, pour donner issue à la vapeur lorsqu'elle est produite en quantité trop considérable, et qui sont chargées par l'intermédiaire d'un *levier*, au moyen de ressorts ou *balances* dont la tension est réglée à volonté; le *tube indicateur de niveau d'eau* et les *robinets d'épreuve*, qui servent à vérifier le niveau de l'eau dans la chaudière; le *manomètre*, qui sert à mesurer la tension de la vapeur; le *sifflet d'alarme*, dont le mécanicien se sert pour commander la manœuvre des freins ou donner des signaux; le *trou d'homme*, ouverture fermée par une plaque autoclave en fonte, et servant à la visite du régulateur ou des parties intérieures de la chaudière; les *robinets réchauffeurs*, qui

servent à renvoyer dans le tender l'excès de vapeur formé pendant le stationnement; les *robinets de vidange*, placés à la partie inférieure de la boîte à feu extérieure pour vider la chaudière; les *lampons de lavage*, placés principalement sur les angles de la boîte à feu extérieure, sous le corps cylindrique, et dans la boîte à fumée, pour l'enlèvement des dépôts sédimentaires.

Entre la chaudière et le mécanisme, dont nous allons parler, on doit classer l'*appareil d'alimentation*, qui se compose de deux *pompes alimentaires* correspondant chacune à l'un des deux cylindres. Les pompes alimentaires se composent essentiellement d'un corps de pompe en fonte ou en bronze, dans lequel se meut un plongeur cylindrique commandé communément par la tête de la tige du piston (fig. 1, pl. 55; fig. 2, pl. 59, 60, 61; fig. 2, pl. 65, 68, 69, 73; fig. 11 et 12, pl. 12; fig. 1, pl. 13; fig. 1 à 4, pl. 14; ou par l'un des deux excentriques (pl. 70, 71; 76, fig. 1; pl. 13, fig. 4 et 5; pl. 14, fig. 5). Le plongeur passe à travers un *presse-étoupe* ou *stuffing-box* qui ferme hermétiquement toute issue à l'eau. Au corps de pompe est attachée une boîte à clapets, qui comprend un *clapet d'aspiration* et un *clapet de refoulement* dans la chaudière; l'eau est amenée par un tuyau qui part du tender, elle passe par la *soupage* d'aspiration, en soulevant le clapet qui la ferme, elle remplit le corps de pompe à la suite du plongeur; elle est ensuite refoulée par celui-ci, passe à travers la *soupage de refoulement*, en soulevant son clapet, et est injectée dans la chaudière. Pour arrêter l'alimentation ou la régler à volonté, la pompe fonctionnant constamment tant que la machine est en mouvement, on place à l'origine du tuyau d'aspiration, dans le tender ou sur un point quelconque de son parcours, une soupape d'introduction ou un robinet que le mécanicien peut manœuvrer de sa place; pour empêcher l'eau de la chaudière de s'échapper en cas de rupture de la pompe, on place sur le tuyau de refoulement, le plus près possible du point d'injection dans la chaudière, une *boîte à clapet* ou un *robinet de retenue*, et souvent l'un et l'autre. Sur la boîte à clapets, on dispose un petit *robinet d'essai* qui sert à vérifier si la pompe fonctionne utilement, ce que l'on reconnaît à l'émission saccadée d'un

jet d'eau à la température du réservoir placé sur le tender ; ce robinet sert encore à amorcer les pompes en donnant issue à l'air qui peut s'être accumulé dans les diverses parties de l'appareil. Les pompes alimentaires sont attachées invariablement au châssis qui supporte la chaudière et les pièces du mécanisme, ou à la chaudière elle-même.

2° APPAREIL MOTEUR OU MÉCANISME. — Les cylindres sont en fonte, fermés à l'avant (1) par un *couvercle* ou *plateau*, assujéti au moyen de boulons et d'écrous, de façon à pouvoir être enlevé pour visiter l'intérieur du cylindre. Le fond d'arrière est fixé à demeure et percé à son centre d'un trou qui livre passage à la tige du piston.

Les cylindres sont *intérieurs*, c'est-à-dire placés entre les deux longerons qui forment le châssis de la machine, ou *extérieurs*, c'est-à-dire appliqués extérieurement sur les longerons.

Chaque cylindre est percé de deux *lumières d'admission* pour l'introduction et l'échappement alternatifs de la vapeur ; les orifices extérieurs de ces lumières viennent déboucher dans une capacité fermée qui est la *boîte du tiroir*, leurs orifices intérieurs sont placés aux deux extrémités du cylindre. Entre les deux lumières d'admission dans la boîte à tiroir est placée la *lumière d'échappement*, qui se trouve, comme nous l'avons déjà dit, constamment recouverte par le tiroir et communique avec le *tuyau d'échappement*.

Le *piston* se compose essentiellement de deux plateaux enfilés sur la *tige* et comprenant entre eux la *garniture* qui empêche la vapeur de passer, dans le cylindre, d'un côté à l'autre. Cette garniture se compose d'anneaux en fonte ou en bronze, entiers ou formés de plusieurs fragments, mais coupés au moins sur un point de leur circonférence ; ces pièces, auxquelles on donne le nom de

(1) Les expressions *avant*, *arrière*, *antérieur*, *postérieur*, se rapportent toujours au sens habituel de la marche de la machine ; l'avant d'une pièce est la partie qui est du côté de l'avant de la machine.

segments, sont au nombre de deux au moins, dont les joints se recouvrent ; leur élasticité propre ou l'action de ressorts intérieurs les maintient constamment appliqués sur le pourtour du cylindre, lequel est alésé avec le plus grand soin (*fig. 3, 4, 5, 12, pl. 20*).

La tige du piston traverse le fond du cylindre et passe à travers un *presse-étoupe* ou *stuffing-box* qui ferme toute issue à la vapeur, sans faire sensiblement obstacle à son mouvement. La *tête* de la tige du piston, que l'on nomme aussi *croisse* ou *coquille*, se compose d'un bloc de métal armé de deux *patins* qui portent sur les *glissières*, pièces reliées fortement au châssis et servant à guider la tige du piston ; elle reçoit la *petite tête* de la *bielle motrice*, pièce en fer forgé qui transmet le mouvement rectiligne alternatif du piston à la *manivelle* de l'*essieu moteur* ; dans les machines où les pompes alimentaires sont commandées directement par le piston, la *croisse* du piston reçoit également l'extrémité du plongeur qu'elle entraîne avec elle.

La bielle motrice agit, dans les machines à cylindres intérieurs, sur une manivelle formée par un coude de l'essieu des *roues motrices* ; dans les machines à cylindres extérieurs, la bielle exerce son action sur un *boulon de manivelle* fixé sur un renflement du moyeu de chacune des roues motrices. Le mouvement du piston, ainsi que nous l'avons déjà expliqué, imprime à l'*essieu moteur* un mouvement de rotation continu ; lorsque l'adhérence est suffisante, l'essieu étant emprisonné par ses extrémités dans des colliers attachés au châssis qui supporte toute la machine, les *roues motrices*, en se développant sur le rail, déplacent leur essieu, et celui-ci entraîne le châssis, la machine qu'il porte et le convoi accroché à la machine.

L'essieu moteur porte, pour chaque cylindre, deux *excentriques*, dont la fonction et la disposition ont déjà été indiquées ; les *colliers d'excentrique* qui les enveloppent portent les *barres d'excentrique* qui transmettent le mouvement de l'essieu aux tiroirs, en le transformant en mouvement alternatif. Dans les anciennes machines, chaque barre d'excentrique recevait à son extrémité un V ou *ped de biche* (*fig. 1, pl. 27*), assez ouvert pour embrasser, dans

toutes les positions possibles, le *bouton* placé à l'extrémité inférieure du levier de distribution; les deux barres d'excentriques étaient liées entre elles par une entretoise articulée, et pouvaient être abaissées ou relevées au moyen de l'*appareil de changement de marche*, de telle sorte que le mécanicien pouvait, à volonté et à coup sûr, embrayer pendant la marche le levier de distribution avec l'un ou l'autre des excentriques et faire marcher la machine en avant ou en arrière; l'une des deux branches du pied de biche venait s'appuyer sur le bouton du levier de distribution et déplaçait le tiroir jusqu'à ce qu'il occupât la position correspondant à celle de l'excentrique embrayé; le bouton était alors logé au fond du V qui entraînait les pièces de la distribution dans son mouvement alternatif. Dans les machines que l'on construit actuellement, on réunit les extrémités des deux barres d'excentriques par une *coulisse* disposée en arc de cercle, dans laquelle se trouve engagée à frottement doux la tête de la tige du tiroir; cette coulisse, que le levier de changement de marche fait monter ou descendre, par rapport au bouton de la tige du tiroir ou *coulisseau*, sert à changer la marche, et est en outre appliquée à produire la détente variable; elle porte le nom du célèbre ingénieur Stephenson, qui le premier l'a introduite dans la construction des machines locomotives. (Voy. pl. 27, fig. 2, pl. 30 et 31. D'autrefois la coulisse est suspendue à une hauteur invariable et ce que le levier de changement de marche fait mouvoir c'est le coulisseau qui termine la bielle intercalée entre la coulisse et la tige du tiroir. La concavité de la coulisse est alors tournée vers le tiroir et non du côté des excentriques comme dans le cas précédent; c'est ce qu'on nomme la *coulisse renversée*. (Voy. pl. 28.)

Dans les anciennes machines, le *levier de distribution* qui ramène le mouvement de l'excentrique à la hauteur du tiroir superposé au cylindre, commande une petite *bielle*, dont l'extrémité agit à son tour sur la *tige du tiroir*, celle-ci pénétrant, dans tous les cas possibles, dans la boîte à tiroir au moyen d'un *presse-étoupe* ou *stuffing-box*, qui intercepte le passage de la vapeur; la tige du tiroir se termine généralement par un *cadre* qui embrasse exactement le

tiroir et lui communique le mouvement de va et vient du système.

L'*appareil de changement de marche* se compose essentiellement d'un *levier* placé à la main du mécanicien, d'une barre qui renvoie l'action du levier vers la région du mécanisme, d'un *arbre de changement de marche* qui porte trois leviers, l'un attaché à l'extrémité de la barre du levier du mécanicien, les deux autres reliés chacun par une bielle articulée à ses deux extrémités, avec le système des deux pieds de biche de chaque tiroir, ou avec la coulisse qui les remplace.

Les différentes pièces du mécanisme sont pourvues de *godets*, de *trous*, de *rainures*, disposés pour faciliter le graissage; ces dispositions sont combinées de telle sorte que l'huile n'arrive que successivement sur les parties en contact et soumises au frottement, de telle sorte qu'il ne soit nécessaire de renouveler l'huile ou de graisser qu'à des intervalles de temps assez éloignés, correspondant à des parcours de 30 à 50 kilomètres et plus. On s'est servi de boîtes à huile pourvues d'un jeu de petits tuyaux et de robinets qui distribuaient l'huile goutte à goutte sur chacune des pièces à lubrifier; cette disposition ne s'est pas généralisée, et on se sert le plus souvent de godets rapportés sur les pièces ou venus de masse, dans l'axe desquels un petit tube cylindrique, formant réservoir annulaire, reçoit une mèche de coton dont l'extrémité plonge dans l'huile et qui fait siphon.

Nous avons eu l'occasion de parler du *tuyau d'échappement* sans nous y arrêter spécialement; cet organe essentiel se rattache à la fois au mouvement et à la vaporisation, car il sert, d'une part, à évacuer la vapeur qui a fonctionné dans les cylindres; de l'autre, il est l'élément principal du tirage et de la production de vapeur. Le cylindre porte une tubulure qui forme l'orifice extérieur de la lumière d'échappement; c'est sur cette tubulure que s'attache la base du tuyau d'échappement. Certains constructeurs réunissent, immédiatement après la sortie des cylindres, les deux tuyaux d'échappement en un seul tuyau qui monte au milieu de la boîte à fumée, jusqu'à la base de la cheminée; d'autres préfèrent laisser les deux échappements distincts jusque vers l'origine de la cheminée, où

ils se réunissent pour n'avoir plus qu'un orifice commun. Maintenant on rend presque toujours l'échappement variable, en disposant l'orifice de manière à faire varier à volonté sa section ; la vitesse d'écoulement de la vapeur dans la cheminée étant d'autant moins considérable que l'orifice d'échappement est plus grand, le tirage peut varier à volonté dans certaines limites. C'est là un des éléments les plus importants de la conduite de la machine. En élargissant l'orifice du tuyau d'échappement, lorsque la vaporisation est suffisamment active, on diminue la résistance à l'écoulement de la vapeur ; par suite, on réduit la contre-pression et on augmente l'effet utile de la vapeur, la puissance et la vitesse de la machine.

3° CHASSIS ET SUPPORTS.—Le châssis ou bâti de la machine est un cadre composé de deux brancards ou longerons principaux entretoisés par des traverses. Les longerons sont en fer plat posé de champ ou en bois armé de tôle ; la chaudière s'y trouve fixée, sa boîte à feu extérieure par des boulons ou des rivets ; son corps cylindrique par des supports, la boîte à fumée et les cylindres par des boulons. La traverse d'avant et la traverse d'arrière relient les extrémités des longerons et complètent le cadre, en même temps qu'elles servent d'attache, l'une au crochet de traction placé à l'avant, l'autre à la barre d'attelage et aux chaînes de sûreté qui relient directement les wagons à la machine. Le châssis porte une plate-forme qui règne tout autour de la machine, ou seulement à l'arrière, à l'endroit où se tient le mécanicien pour manœuvrer le régulateur, le levier de changement de marche, les robinets d'épreuve, etc. ; à l'arrière, la plate-forme est surmontée latéralement d'une rampe ou garde-corps pour la sûreté du mécanicien et du chauffeur, et des personnes qui se placent accidentellement à leurs côtés.

Le châssis, et toute la machine à laquelle il sert de base, est porté par les roues, dont le nombre varie, par paires, de quatre à huit. Les roues sont montées deux à deux sur un essieu en fer forgé, avec lequel elles sont solidaires ; l'essieu porte, extérieurement si le

châssis est extérieur, intérieurement s'il est intérieur, des collets ou fusées parfaitement tournés et cintrés, sur lesquels reposent des coussinets en bronze ou autre alliage équivalent, enfermés eux-mêmes dans une sorte de pelier indépendant qui porte le nom de boîte à graisse ; pendant le mouvement, la fusée tourne sur le coussinet et est constamment lubrifiée par l'huile ou par la graisse approvisionnée dans une cavité disposée à cet effet à la partie supérieure de la boîte à graisse. Celle-ci supporte le poids de la partie correspondante de la machine, par l'intermédiaire d'un ressort en acier attaché au longeron ; elle est encastrée entre des plaques de garde, appendices du longeron, qui la rendent solidaire avec l'ensemble de la machine, tout en permettant le mouvement vertical, correspondant au jeu des ressorts qui transmettent à la machine, en les atténuant, les chocs résultant des inégalités de la voie. — Les fusées de l'essieu moteur réagissent, par l'intermédiaire des boîtes à graisse, sur les plaques de garde, pour entraîner la machine ; celles des autres essieux sont, au contraire, entraînées par le châssis et font obéir les roues au mouvement de translation de la machine qu'elles supportent.

Une roue se compose d'un moyeu en fonte ou en fer forgé, de rais en fer, d'une jante ou cercle intérieur, ordinairement formé de la réunion, par voie de soudure, des appendices fixés à l'extrémité des rais en forme de T, et enfin d'un bandage ou cercle de roulement garni d'un mentonnet ou boudin dont la saillie a pour objet d'empêcher la machine de dévier de la direction de la voie pendant la marche.

Lorsque l'adhérence résultant du frottement dû au poids total des roues motrices et de la charge qu'elles supportent, n'est pas suffisante pour empêcher les roues de tourner sur place ou de patiner, on accouple, avec les roues motrices, les roues d'avant ou celles d'arrière, souvent même les unes et les autres. Les roues accouplées doivent avoir un diamètre exactement égal à celui des roues motrices ; elles portent au moyeu un renflement qui reçoit un bouton de manivelle, également distant du centre de l'essieu sur chaque roue ; les boutons de manivelle reçoivent chacun la

tête d'une barre ou *bielle d'accouplement*. Lorsque les machines sont à cylindres extérieurs, les bielles d'accouplement sont fixées sur les roues motrices au bouton qui reçoit déjà la bielle motrice, et qu'on allonge à cet effet.

La machine porte sur la traverse d'avant des *tampons de choc*, à ressorts, et sur la traverse d'arrière, des *tampons* non élastiques qui maintiennent l'*écartement* du tender.

Les détails contenus dans cette première section donnent le nom et la définition, et indiquent la fonction des différentes pièces qui entrent dans la construction d'une machine locomotive; ils forment en quelque sorte le programme des chapitres suivants, dans lesquels nous indiquerons la forme, les dimensions, la nature, le mode de construction de chacune de ces pièces, en exposant, d'une manière plus complète, les services qu'elles rendent dans l'ensemble du mécanisme. Nous avons pris pour point de départ plusieurs types de machines différents; lorsque les pièces présentent des différences notables de l'un à l'autre, nous en donnons la description et la figure pour chacun de ces types, en discutant les avantages et les inconvénients de chaque système; nous aurons soin, du reste, de signaler toutes les dispositions qui, en dehors de ces types, méritent de fixer l'attention.

§ 2. — Classification des machines.

1^o CLASSIFICATION BASÉE SUR LA NATURE DU SERVICE. — Les machines à voyageurs sont celles que l'on affecte exclusivement au transport des voyageurs ou au service de la grande vitesse; elles marchent à une vitesse d'au moins 40 kilomètres à l'heure, et sur certains chemins elles atteignent, dans les circonstances régulières du service, une vitesse de 80 à 100 kilomètres. Elles ont des roues motrices d'un diamètre d'autant plus grand que le service qu'elles doivent effectuer exige une plus grande célérité; la course du piston est restreinte relativement au diamètre des roues, de telle sorte que, pour un mouvement de translation très-rapide, les oscillations des pièces du mécanisme ne soient pas répétées un

trop grand nombre de fois dans l'unité de temps, et n'aient pas lieu avec une vitesse trop considérable qui deviendrait nuisible à leur conservation. Dans les machines à voyageurs proprement dites, les roues motrices sont indépendantes des autres roues, leur diamètre varie de 1^m 68 à 2^m 10, et va même quelquefois au delà. La charge doit varier avec la vitesse qui fait croître les résistances de toute nature suivant une progression très-rapide. Si l'on augmente le diamètre des roues suivant la vitesse de translation que l'on veut obtenir, de manière à n'augmenter ni la course du piston, ni la fréquence de ses oscillations, ni la surface de chauffe qui est en rapport intime avec ces derniers éléments, il est évident que, le travail moteur de la vapeur sur les pistons restant constamment le même, il faudra, pour rester dans les mêmes conditions de travail résistant, diminuer le poids total à remorquer proportionnellement à l'accroissement des coefficients de résistance. La charge ordinaire des machines à voyageurs actuelles, sur un chemin à rampes de 5 ^m/_m par mètre, doit être limitée à 15 ou 16 voitures de voyageurs et wagons de service à quatre roues, de dimension ordinaire, lorsque la vitesse de marche varie entre 40 et 50 kilomètres à l'heure. Lorsqu'on atteint des vitesses de 80 à 100 kilomètres à l'heure, avec les machines spéciales que l'on construit à cet effet, le nombre des véhicules remorqués sur le même chemin doit être limité à 8 ou 9 si l'on veut obtenir une marche régulière.

Les machines à marchandises sont disposées pour remorquer de très-fortes charges à petite vitesse; elles ont des roues d'un petit diamètre, variant de 1^m 10 à 1^m 50, des cylindres d'une longue course; les roues motrices sont accouplées avec une ou plusieurs autres paires de roues.—Ces machines, pour rester dans de bonnes conditions, doivent marcher à des vitesses comprises entre 20 et 30 kilomètres à l'heure; elles ne doivent dépasser la limite supérieure qu'accidentellement et lorsque les roues ont le diamètre maximum de 1^m 50. Dans les conditions de tracé et de vitesse que nous venons d'indiquer, ces machines remorquent, suivant le poids total des véhicules, trente à quarante-cinq wagons chargés de marchandises.

Les *machines mixtes* sont devenues d'un usage fréquent. Elles sont généralement, comme dimensions relatives de leurs organes et comme conditions de service, dans une situation intermédiaire entre les deux autres catégories. Elles ont une paire de roues accouplées avec les roues motrices, des courses de piston assez grandes, des roues motrices de 1^m 50 à 1^m 60 de diamètre; elles travaillent à des vitesses de marche qui doivent rester comprises entre 35 et 45 kilomètres, avec écart accidentel jusqu'à 50 kilomètres à l'heure; elles remorquent facilement sur un profil à rampes de 5 ‰ des trains de 20 à 24 véhicules, wagons de marchandises et voitures de voyageurs. Sur plusieurs chemins à grand trafic ou à stations très-multipliées, on emploie, pour le service exclusif des voyageurs, des machines à quatre roues, accouplées, dont le diamètre va jusqu'à 1^m 80; elles peuvent encore être utilisées pour le service mixte des voyageurs et des marchandises, et doivent rester dans la catégorie des machines mixtes. Les machines à roues accouplées doivent être employées d'une manière à peu près exclusive, pour le service des voyageurs, sur les chemins ou sur les sections de chemins de fer, dont le profil normal comporte des rampes d'une inclinaison supérieure à 5 ‰ par mètre.

On a construit, dans ces dernières années, un assez grand nombre de machines qui portent leur eau et leur coke, et qui, par suite, n'ont pas de tender séparé; on les appelle *machines-tender*; nous en parlerons plus loin. — Nous parlerons aussi plus loin d'une nouvelle classe de locomotives (système Engerth), qui, souvent, portent sur les machines elles-mêmes une partie de l'approvisionnement d'eau. — Enfin, on a construit en Angleterre, pour le service de quelques embranchements, des voitures à voyageurs qui portent leur machine et circulent isolément.

2° CLASSIFICATION BASÉE SUR LA DISPOSITION DES CYLINDRES. — Les *machines à cylindres intérieurs* ont leurs cylindres compris entre les deux roues d'un même essieu, et par conséquent entre les rails de la voie; l'essieu des roues motrices est deux fois

coudé en forme de manivelle. Les machines de cette catégorie ont naturellement plus de stabilité, un mouvement plus régulier et plus tranquille que celles de la catégorie suivante.

Les *machines à cylindres extérieurs* ont leurs cylindres placés en dehors du bâti et en surplomb à l'extérieur de la voie. Elles sont avantageuses par la simplicité de leur construction et par la suppression de l'essieu coudé, mais elles sont assujetties à certaines conditions d'instabilité que nous examinerons plus loin. Si la stabilité ne pouvait pas être obtenue par l'application d'un correctif simple et efficace, elles auraient, à ce point de vue, une infériorité marquée à l'égard des machines à cylindres intérieurs. Dans l'état actuel des choses, les avantages et les inconvénients de nature diverse se balancent sensiblement dans ces deux systèmes de machines.

On a construit exceptionnellement des machines ayant plus de deux cylindres; Stephenson a imaginé et réalisé la construction d'une *machine à trois cylindres* dont un intérieur et deux extérieurs, ces deux derniers ayant leurs manivelles parallèles et tournées dans un même sens perpendiculaire à la manivelle du premier, celui-ci étant équivalent, pour le travail développé sur le piston, à la somme des deux autres.

M. Verpillieux, de Rive-de-Gier, a construit, pour le service spécial de la remonte des wagons à houille sur le chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon, des *machines à quatre cylindres*, dont deux cylindres supplémentaires sur le tender, pour utiliser, au point de vue de l'adhérence, le poids de ce véhicule. En Piémont, et plus tard sur le chemin de fer Sarde de *Victor-Emmanuel*, on a transformé la machine de Verpillieux en deux *machines-tender*, à quatre roues chacune, accouplées dos à dos.

On peut encore distinguer les machines, en *machines à cylindres horizontaux* et à *cylindres inclinés*, suivant la position que les convenances de la construction conduisent à donner à ces organes.

3° CLASSIFICATION BASÉE SUR LE NOMBRE DES ROUES. — Les premières machines n'avaient que quatre roues comprises entre la

boîte à feu et la boîte à fumée. A la suite de plusieurs accidents et notamment de l'accident du 8 mai 1842 (rive gauche de Versailles), on s'est effrayé des dangers que présentaient les *machines à quatre roues*, et l'usage des *machines à six roues*, que plusieurs constructeurs avaient déjà adoptées, dans le but de pouvoir proportionner les dimensions de l'appareil à la puissance de plus en plus grande qu'il fallait obtenir, est devenu général. Cette disposition a permis d'augmenter le poids des machines, sans augmenter la fatigue des rails. Maintenant que le poids des rails a été augmenté et que la fabrication des essieux a été perfectionnée, en même temps que l'expérience a conduit les constructeurs à leur donner des dimensions plus fortes, on est déjà revenu dans quelques cas à l'usage des machines à quatre roues; sur quelques chemins, du reste, les machines n'ont une troisième paire de roues que pour la forme, toute la charge étant portée sur les roues motrices et sur les roues d'avant.

En Amérique et dans quelques parties de l'Europe, l'avant des machines est supporté par un train de quatre roues de petit diamètre, mobile autour d'une cheville ouvrière pour faciliter le passage dans les courbes de petit rayon; lorsqu'elles sont destinées au transport des marchandises, on leur applique une seconde paire de roues motrices que l'on accouple avec celles qui reçoivent l'action du piston. Ces machines deviennent des *machines à huit roues*. Dans quelques circonstances exceptionnelles, on a ajouté une quatrième paire de roues aux machines ordinaires à six roues, en maintenant le parallélisme des essieux.

Les premières machines du système Engerth, dont nous donnons une description spéciale, avaient dix roues accouplées, dont quatre sous le tender reliées à celles de la machine par un engrenage; en France, on a réduit le nombre des roues accouplées dans ces machines à huit, rendues dépendantes du châssis par une disposition spéciale. Elles présentent, à l'inverse des machines américaines, un *arrière-train* articulé qui porte le foyer et le tender.

CHAPITRE II.

Appareil de Vaporisation.

On a vu dans l'introduction qu'en 1829, à l'époque du concours ouvert sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, les conditions de vaporisation avaient été améliorées d'une manière fondamentale par l'emploi des tubes de petit diamètre, et par l'injection de la vapeur dans la cheminée. Les efforts des constructeurs ont eu pour but unique, depuis cette époque, d'obtenir de ces dispositions le maximum d'effet utile. En 1832, R. Stephenson portait déjà le nombre des tubes à 82, en réduisant leur diamètre à 0^m 038; plus tard il faisait reposer la machine sur 6 roues, dont deux étaient placées en arrière du foyer; en augmentant le nombre des points d'appui, il augmentait les dimensions de la chaudière, y plaçait 111 tubes et portait la surface de chauffe totale de 22^{m²} 1/2 à 52^{m²}.

Sharp et Roberts suivent R. Stephenson et deviennent promptement ses émules; ils adoptent également un type spécial de machines à 6 roues, portent le nombre de tubes à 162 et obtiennent une surface de chauffe totale de 58^{m²}. Les nécessités toujours croissantes du trafic qui réclame une augmentation de vitesse et de puissance, la lutte qui s'engage entre la large voie et la petite voie, entre Brunel et Stephenson, conduit ce dernier, en 1842, à faire un nouveau pas dans la voie d'accroissement des surfaces de chauffe; tout en maintenant le même écartement pour les essieux extrêmes, ce que rendait alors nécessaire la dimension des plaques tournantes, il reporte le foyer au delà du troisième essieu et augmente d'une quantité correspondante la longueur de la chaudière; les tubes atteignent une longueur totale de 3^m 80, et la surface de

chauffe devient égale à 66^m; ce dernier élément arrive successivement à la limite de 70^m et même 95^m lorsque la dimension des plaques tournantes le permet.

Sharp et Roberts, qui persistent toujours dans le même type, augmentent la surface de chauffe en s'attachant surtout à augmenter le diamètre de la chaudière et le nombre des tubes; ils atteignent, pour les plus grands écartements d'essieux extrêmes que comportent les plaques tournantes de l'époque, la limite de 96^m.

En 1846, un pas nouveau dans l'augmentation des surfaces de chauffe est fait par M. Crampton, qui porte l'écartement des essieux extrêmes à 4^m 86, en plaçant l'essieu moteur en arrière du foyer; il augmente dans une proportion considérable la surface de chauffe directe dans le foyer, qui est la plus utile, en même temps qu'il porte le nombre des tubes à 178, et arrive ainsi à obtenir une surface de chauffe totale de 102^m. Depuis on est arrivé, dans certaines machines du type ordinaire, à porter la surface de chauffe à 135^m; les machines Engerth, par leur mode particulier de construction, ont permis d'arriver à 180 et même 200^m. On a cherché également à augmenter la surface de chauffe du foyer en y plaçant un bouilleur qui est enveloppé par le combustible; mais cette disposition, dont il sera parlé plus loin, exige déjà des foyers très-grands par eux-mêmes.

Les constructeurs et les ingénieurs préposés à l'entretien du matériel des chemins de fer se sont également préoccupés des moyens d'améliorer les conditions du tirage, en cherchant en même temps à décharger, autant que possible, les pistons de la contre-pression de la vapeur; on s'est attaché à rendre aussi direct que possible le trajet à effectuer par la vapeur, depuis la lumière jusqu'à l'orifice d'échappement; mais le seul progrès essentiel qui ait été accompli dans cette direction est l'adoption de l'*échappement variable*. La première idée de ce perfectionnement doit être attribuée à M. de Pambour, qui la fit appliquer en 1836 sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, dans le but de mesurer l'influence du tuyau d'échappement sur la résistance de la vapeur derrière le piston, et qui en conseilla l'emploi dans le service ré-

gulier des machines. Cette disposition ne fut appliquée que vers l'année 1842, sur le chemin de fer d'Alsace, où elle fut perfectionnée, et d'où son usage s'est répandu promptement sur la plupart des autres chemins de fer français; elle a été importée en Allemagne par des machines de construction française; mais il ne semble pas qu'elle se soit propagée en Angleterre, où la bonne qualité du combustible la rend moins utile.

Les pompes alimentaires n'ont reçu que des perfectionnements de détail; vers 1842, Stephenson adopta pour règle, comme l'avait fait Hackworth dès l'origine, de les mettre en mouvement au moyen de l'excentrique de la marche en arrière; mais cette disposition n'a pas prévalu d'une manière générale; beaucoup de constructeurs continuent à prendre le mouvement sur la tête de la tige du piston. Dans les premières machines Crampton, la tige de la pompe alimentaire n'était autre chose que le prolongement de la tige du piston.

§ 1^{er}. — Foyer.

1^o BOÎTE À FEU. — La partie intérieure du foyer qui reçoit le combustible et à laquelle nous affecterons spécialement le nom de *boîte à feu*, a la forme d'une caisse parallépipédique renversée, ou présentant son ouverture par le bas; elle est construite le plus généralement en cuivre rouge de première qualité; quelques constructeurs ont employé le fer, mais ce métal s'altère trop facilement au contact d'une masse de combustible brûlant à une température très élevée, et surtout par l'action de l'eau dont les suintements déterminent une prompte oxydation. Le cuivre rouge, au contraire, ne s'use que lentement et sans perdre sa ductilité et sa ténacité; il est, en un mot, d'un emploi plus sûr et peut-être moins coûteux au point de vue des réparations, si l'on tient compte de la valeur intrinsèque des vieilles matières.

Quelques constructeurs ont employé la forme demi-cylindrique pour les foyers, mais leur système n'a pas prévalu, et il est sur-

tout inapplicable depuis que l'expérience a démontré la nécessité d'obtenir des surfaces de chauffe très-considérables.

La figure 1, pl. 5, représente la boîte à feu des machines du chemin de fer du Nord, établies en 1846 d'après les plans de Stephenson. Une seule feuille de cuivre de 0^m 010 à 0^m 012 d'épaisseur forme le *ciel* ou plafond et les *parois latérales*; deux autres feuilles, de même épaisseur, dont les rebords sont pliés en forme de cornière, forment l'une la *paroi antérieure* ou *plaque tubulaire* qui reçoit les tubes, l'autre la *paroi postérieure* dans laquelle est percée la porte du foyer. Ces trois plaques doivent être assemblées entre elles au moyen de rivets en cuivre ou en fer.

La plaque tubulaire est renflée à l'endroit où elle reçoit les tubes et son épaisseur atteint 0^m 025; cette disposition est nécessaire pour donner une base suffisante à l'assemblage des tubes, qui est fait par pression et frottement.

Les parois verticales de la boîte à feu sont percées de trous taraudés, distribués symétriquement sur toute leur surface, la partie qui reçoit les tubes exceptée; ces trous reçoivent l'extrémité des *entretôises* destinées à relier les parois du foyer avec l'enveloppe extérieure. Ces entretôises sont filetées sur toute leur longueur et par conséquent assemblées à vis avec la boîte à feu et avec son enveloppe extérieure, qui reçoit, par analogie de position, le nom de *boîte à feu extérieure*; elles sont, en outre, rivées à l'intérieur et à l'extérieur pour compléter la résistance à la pression de la vapeur. Elles doivent être en cuivre rouge; lorsqu'elles sont en fer, elles peuvent se détruire avec une grande rapidité, sans qu'il soit possible de s'en assurer autrement qu'en démontrant le foyer. Le matage des entretôises doit se faire avec un grand soin pour ne pas ébranler celles qui sont déjà placées, pour ne pas altérer les filets et ne pas produire un écrouissage qui pourrait faire sauter les têtes sous l'effort d'une pression élevée.

Le plafond est soutenu par de fortes *armatures*, disposées dans le sens de la longueur de la machine, qui viennent s'appuyer sur la tranche des parois verticales; de forts boulons en cuivre ou en fer, vissés comme les entretôises dans la feuille de cuivre qu'ils

traversent, rattachent le ciel du foyer à ces armatures, qui supportent, en définitive, l'effort dû à la pression de la vapeur. — Dans les anciennes machines, qui n'étaient pas destinées, du reste, à fonctionner à des pressions considérables, on a souvent négligé de donner aux armatures une longueur suffisante et il en est résulté des explosions. — Les armatures sont disposées de manière à laisser circuler l'eau entre leur surface inférieure et le ciel de la boîte à feu. Elles sont formées de deux flasques en forte tôle entre lesquelles passent les boulons d'attache, ou bien elles sont en fer forgé, d'une seule pièce; dans ce cas, les trous qui laissent passer les boulons dans le corps de l'armature correspondent à des renflements calculés de manière à donner au métal une épaisseur constante, et à ne pas l'affaiblir dans les points mêmes où l'effort dû à la pression s'exerce. — Les armatures doivent affecter la figure d'un solide qui repose sur deux appuis et qui doit présenter, en tous ses points, une égale résistance à la rupture, car les boulons qui viennent s'y rattacher doivent supporter chacun une part égale de la pression exercée sur le ciel de la boîte à feu.

Les armatures étant espacées, d'axe en axe, de 0^m 10, et leurs boulons étant à la même distance entre eux, chaque boulon doit, pour une tension de 8^{atm} ou une pression effective de 7^{atm}, supporter un effort de 720^{kg}, et chaque armature un effort total de 7,200^{kg}. On peut déterminer, par le calcul, la dimension qu'il convient de donner aux armatures et aux boulons; mais il convient, dans la pratique, de se maintenir beaucoup au-dessus des limites indiquées par le calcul, surtout pour des pièces de forge assez difficiles à travailler qui peuvent présenter des défauts de soudure ou de résistance. Comme exemple, nous citerons les armatures de la boîte à feu du chemin de fer du Nord qui, pour une tension de vapeur de 7^{atm}, ont au sommet 0^m 105 de hauteur et 0^m 034 d'épaisseur.

À la porte du foyer, la jonction entre la paroi de la boîte à feu et l'enveloppe extérieure s'opère au moyen d'un anneau ou d'un cadre en fonte ou en fer forgé, fixé au moyen d'entretôises en fer fortement rivées à l'intérieur et à l'extérieur. À la partie inférieure,

un cadre en bronze, en fer forgé ou en tôle emboutie, complète la fermeture de l'espace réservé à l'eau et à la vapeur.

Les dispositions de détail varient quelquefois d'un constructeur à l'autre, mais les différences ne sont jamais essentielles, ainsi qu'on pourra en juger par l'examen des figures *planches 5 et suivantes*.

On remarquera que dans les machines mixtes du chemin de fer de Lyon, construites par M. E. Gouin, on a complété la consolidation du ciel de la boîte à feu, au moyen de tirants qui réunissent deux des armatures à la partie supérieure de la chaudière; on peut remarquer également que quelques constructeurs ont substitué, aux armatures en fer forgé d'une seule pièce, des moises en tôle formées de deux feuilles placées de champ et assemblées au moyen de rivets enveloppés d'anneaux destinés à empêcher le rapprochement. Les armatures des machines Crampton, dont la longueur est de 1^m 35, sont formées de deux feuilles de 0^m 010 d'épaisseur sur 0^m 180 de hauteur au sommet.

Les entretoises qui rattachent la boîte à feu à son enveloppe sont généralement en cuivre et rivées; certains constructeurs, pour rendre plus facile le démontage et la réparation de la boîte à feu, ont ajusté, sur les extrémités des entretoises, des écrous qui remplacent la rivure.

Les différences les plus saillantes dans la construction du foyer, se remarquent dans la disposition de la pièce qui raccorde le bord inférieur de la boîte à feu avec l'enveloppe. On a d'abord réuni directement les deux surfaces en étirant sous l'action du marteau les feuilles de cuivre qui composent la boîte à feu, et en rivant leur bord sur celui de l'enveloppe extérieure; mais cette disposition a l'inconvénient de rendre le nettoyage plus difficile et de réduire la profondeur du foyer. On s'est également servi de deux cornières en fer rivées ensemble de manière à former une double cornière en forme de Z. On a fait fréquemment usage de cornières en bronze ou en cuivre coulées d'une seule pièce, qui, bien que coûteuses de matière, sont avantageuses pour la pose et la conservation; mais elles se brisent facilement dans les angles;

elles ont la forme d'un Z, comme dans les machines du Nord et de Lyon (*fig. 1, 2 et 3, pl. 6*), ou d'une gouttière rectangulaire, comme dans les machines de Buddicom (*fig. 1, pl. 7*). Maintenant on fait presque généralement usage d'un cadre en fer forgé (*fig. 2 et 3, pl. 7*), analogue à celui qui forme le joint à la porte du foyer; on le fixe entre les deux parois au moyen de deux lignes de rivets étagées en diagonales.

Nous ajouterons que, pour arriver à donner à la surface de chauffe la plus grande dimension possible, soit en augmentant le développement des surfaces en rapport direct avec le combustible, soit en augmentant le nombre des tubes, on a été souvent conduit à évaser la partie supérieure de la boîte à feu, autant que le permettait la largeur de l'enveloppe extérieure (*fig. 2, pl. 5*.)

Enfin, quelques constructeurs ont disposé, soit en travers de la boîte à feu, soit dans le sens longitudinal, un *bouilleur* en forme de tuyau aplati, de 0^m 10 de largeur, montant jusqu'à la hauteur de la porte. La partie du foyer qui reçoit le combustible se trouve donc partagée en deux parties, séparées par une cloison pleine d'eau. On a même fait monter jusqu'au plafond des bouilleurs longitudinaux, de manière à former deux foyers distincts, ayant chacun sa porte de chargement. On a augmenté ainsi la surface de chauffe directe, mais la conduite du feu devient plus difficile, les parois du bouilleur et celles de la boîte à feu elle-même, aux points de raccordement, se surchauffent, et, en somme, éprouvent des dégradations qui rendent l'entretien difficile. L'utilité de ces bouilleurs serait incontestable, surtout dans le chauffage à la houille crue, si leur construction pouvait être mise à l'abri des inconvénients qui viennent d'être signalés. Ils sont restés usités en Angleterre.

2^o GRILLE. — La grille est destinée à soutenir le combustible, tout en ménageant l'accès à l'air nécessaire à la combustion. La grille ordinaire se compose de *barreaux* longitudinaux supportés par leur extrémité sur des barres transversales fixées au foyer; lorsque celui-ci est très-allongé, les barreaux sont en deux pièces (*pl. 8, fig. 2*), et il existe une barre d'appui intermédiaire. La

surface de la grille, qui répond à la section horizontale de la boîte à feu, le rapport existant entre le *plein* et le *vide*, qui dépend du nombre et de l'épaisseur des barreaux, sont des éléments d'une grande importance dans la construction d'une machine. — Il faut, en général, donner au passage de l'air la plus grande section possible, autant que le comporte la résistance des barreaux; comme il faut, en général, que l'écartement des barreaux soit faible pour que le combustible ne passe pas à travers la grille; on y arrive en multipliant le nombre de barreaux et en ne leur donnant qu'une faible épaisseur. — L'écartement ne doit guère dépasser la limite de 0^m 020 à 0^m 025; cependant il faut augmenter cet écartement, lorsque le combustible est impur et produit du mâchefer, pour que le passage de l'air ne s'obstrue pas et pour qu'il soit possible de *piquer le feu* et de nettoyer la grille.

Les barreaux sont en fer forgé ou en fer laminé; dans le premier cas, ils sont renflés vers le milieu, à leur partie inférieure (fig. 1, pl. 5), dans le second cas (fig. 1, 2, 3, pl. 6), ils sont rectilignes; les extrémités sont façonnées en forme de T pour s'appliquer sur les traverses qui les supportent et pour maintenir l'écartement. Les barreaux en fer laminé sont chanfreinés aux deux bouts, pour faciliter la mise en place; pour le même motif, et à cause de la dilatation, les uns et les autres ont une longueur d'environ 0^m 01 inférieure à celle du foyer; on a même soin d'abatire, à chaque bout, l'angle supérieur, pour que la dilatation ne les fasse pas courber, lorsque les extrémités sont calées par des cendres tassées ou du mâchefer; ces obstacles, ne formant plus qu'un coin obtus, se déplacent lorsque le barreau s'allonge. Les barreaux en fer forgé sont fabriqués dans des étampes, au marteau à main: ils sont préférables pour la conservation au feu, mais ils sont trop coûteux et on leur préfère généralement les barreaux en fer laminé; ceux-ci viennent de la forge coupés à la longueur exacte, et les extrémités sont façonnées par refoulement ou par l'application de deux petites mises. — Les barreaux ont habituellement 0^m 100 de hauteur au milieu, 0^m 015 de largeur à la partie supérieure, et environ 0^m 010 à la partie inférieure que l'on amincit

pour faciliter le passage de l'air; ils doivent être aussi haut que possible pour que le refroidissement, plus facile, les préserve mieux.

Les barres transversales supportant les barreaux sont en fer carré de 0^m 04 de côté; elles reposent elles-mêmes sur des consoles ou pattes en fer forgé, vissées et boulonnées sur la pièce, qui établit la jonction entre les boîtes à feu intérieure et extérieure (fig. 1, 2 et 3, pl. 6); ces barres portent des goujons, qui entrent dans des trous correspondants ménagés sur les consoles. Pendant longtemps les barres qui reçoivent les extrémités des barreaux ont fait partie d'un cadre complet, supporté par des pattes sur les quatre parois du foyer; dans ce cas il était alors nécessaire que les côtés du cadre qui portent l'extrémité des barreaux fussent en contre-bas des deux autres côtés, de toute l'épaisseur des oreilles, afin que la grille formât une table bien plane. La surface de la grille doit être placée à 0^m 03 ou 0^m 04 en contre-haut du fond de la chaudière, afin que les dépôts d'incrustations qui s'accumulent et se solidifient dans cette partie, pendant le temps que la machine reste en service, ne s'élèvent pas plus haut que le point où le combustible incandescent est en contact avec les parois.

Les barreaux doivent toujours être placés dans le sens de la longueur de la machine, pour que le mécanicien puisse, en cas d'accident, les arracher et jeter bas le feu, en passant un *ringard* par la porte, et pour que le chauffeur puisse nettoyer ou piquer le feu par dessous.

Autrefois, on se servait de grilles à bascule, afin de pouvoir jeter le feu rapidement; le cadre était en fonte, mobile autour d'un de ses côtés, et soutenu, de l'autre côté, par des crochets reliés à une tige que le mécanicien pouvait manœuvrer de sa plateforme. Ce système, depuis longtemps abandonné, vient d'être appliqué de nouveau pour les machines à très-grand foyer, dans lesquelles il est nécessaire de mettre des barreaux en deux longueurs, pour les rendre capables de supporter le poids du combustible; on l'a employé seulement pour la partie postérieure de la grille que le mécanicien ne peut pas atteindre avec sa lance à jeter le feu.

Depuis les ordonnances sur la suppression de la fumée, tant en France qu'en Angleterre, il a été imaginé de nombreuses combinaisons de grilles et de foyers propres à brûler la houille. Parmi celles qui ont été adaptées aux locomotives, nous citerons :

1° *La grille à gradins de MM. de Marsilly et Chobrzynsky.* Dans ce système, la grille plate ordinaire est remplacée par une série de gradins étagés depuis le fond du foyer, près de la plaque tubulaire, jusque vers la porte de chargement. Le combustible se dépose à la pelle sur la marche supérieure de cette sorte d'escalier, et il descend successivement jusqu'au dernier gradin par les trépidations de la machine en marche, en se transformant peu à peu en coke. Entre le dernier gradin et la paroi du foyer, il existe quelques barreaux ordinaires *transversaux*, qui terminent la grille et sont disposés en *jette-feu mobile*. Cet appareil est employé en service courant dans le matériel du chemin de fer du Nord. Sur d'autres lignes, où les houilles consommées sont très-impures, l'espace compris entre les gradins est bienôt obstrué, sans qu'il y ait possibilité de *piquer le feu*.

2° *La grille ordinaire inclinée* que M. Poinceau a substituée à la grille à gradins, et sur laquelle on emploie facilement la houille en gaillette (fig. 3, planche 7).

3° *L'appareil Dumery*, dit à combustion renversée, qui a pour principe l'introduction du combustible frais *sous* le combustible incandescent, à l'aide de deux cornets latéraux, dans lesquels la houille est refoulée par des repousseurs. Ce système, qui est complètement fumivore, n'est encore sur les locomotives qu'à l'objet d'étude.

4° *Le foyer Mac-Connell* ne se compose pas seulement de la boîte à feu rectangulaire que nous avons décrite; celle-ci se prolonge dans le corps cylindrique aux dépens des tubes, qui sont ainsi fort courts, et qu'on a dû faire de très-faible diamètre pour en multiplier le nombre. La chambre ainsi formée, entre la plaque tubulaire et le foyer proprement dit que termine, dans le bas, la grille ordinaire, est appelée par l'auteur : *chambre de combustion de la fumée*. L'air s'y introduit du dehors, à contre-courant des gaz chauds, par

des entretoises creuses; il vient se mêler aux gaz et achève de brûler les matières goudronneuses, qu'ils entraînent avec eux. En outre, afin de donner à la surface de chauffe directe un grand développement, il existe dans ce long foyer un de ces bouilleurs plats longitudinaux, dont nous avons parlé, et qui le divise en deux parties distinctes ayant chacune leur porte de chargement. La seule machine Mac-Connell que nous possédions en France a donné de bons résultats comme service économique et comme fumivorité.

5° *Le foyer Douglas* a aussi sa chambre de combustion et son introduction d'air; mais le foyer conserve sa forme accoutumée et il est simplement divisé en deux parties, l'une au-dessus de l'autre, par un bouilleur plat *transversal et oblique*. Ce bouilleur commence au-dessus de la porte ordinaire de chargement, finit à l'autre bout du foyer au niveau du dernier rang de tubes, est rivé aux deux parois latérales et laisse entre lui et chacune des deux parois transversales un passage pour les gaz. On charge sous ce bouilleur, par la porte ordinaire, le combustible, qui au départ doit être du coke; lorsque celui-ci est incandescent et que le foyer est pour ainsi dire amorcé, on repousse le coke au fond, vers la plaque tubulaire, et on charge la houille en avant. Elle commence aussitôt à se distiller, et elle est convertie en coke lorsque vient l'instant de la refouler à son tour pour recharger. La fumée qui s'est d'abord dégagée commence par se mêler avec les produits incandescents de la combustion du coke; et quand ils parviennent ensemble dans la chambre supérieure au-dessus du bouilleur, ils reçoivent, comme dans le précédent système, une injection d'air par des tuyaux percés dans une seconde porte, établie au-dessus de la porte de chargement; et qui permet de voir, au besoin, dans la chambre supérieure.

3° *TUBES.* Les tubes à fumée ou à air chaud sont généralement en laiton; on en a fabriqué en fer et très-rarement en cuivre rouge. En principe, le diamètre des tubes doit être aussi petit que possible, pour que la surface de chauffe qu'ils produisent ait le plus

grand développement possible, leur nombre variant inversement à leur diamètre; mais, dans la pratique, des tubes trop étroits gêneraient le tirage, et seraient facilement obstrués par les petits fragments de combustible, par la cendre et par le mâchefer que la rapidité du courant de gaz chauds entraîne. Leur diamètre extérieur varie de 0^m 043 à 0^m050, et l'épaisseur de leur paroi de 0^m 002 à 0^m 0025. Les tubes sont assez promptement usés par l'action du feu, surtout lorsqu'ils se chargent d'incrustation à l'intérieur de la chaudière, par le frottement des fragments de combustible, et par les tiraillements auxquels ils sont soumis dans les alternatives de dilatation et de contraction; lorsqu'on les remplace, on trouve quelquefois leur poids total réduit de plus de moitié, ce qui permet d'apprécier quelle diminution subit leur épaisseur.

Les tubes sont fixés dans la boîte à feu et dans la boîte à fumée, au moyen de *bagues* ou de *viroles* en acier, cylindriques à l'intérieur, légèrement coniques à l'extérieur, et légèrement amincies au bout qui pénètre dans le tube; leur épaisseur ne doit pas excéder 0^m 002 à 0^m 003. Les tubes sont cylindriques et sont enfilés dans les deux trous correspondants des plaques tubulaires, par la porte de la boîte à fumée; lorsqu'ils sont tous placés, on procède à la pose des viroles, d'abord dans le foyer, ensuite dans la boîte à fumée. On chasse fortement les viroles avec un marteau, en ayant soin d'enfoncer des mandrins dans les tubes voisins, lorsqu'ils ne sont pas encore garnis de leurs viroles, pour empêcher la déformation des trous percés dans la plaque tubulaire. Les viroles doivent entrer de force et serrer fortement le bord des tubes contre les trous qu'ils remplissent; elles doivent rester seulement d'un ou deux millimètres en saillie sur la plaque tubulaire. On mate sur les viroles l'extrémité des tubes pour achever de former le joint.

La plupart des constructeurs suppriment les viroles dans la boîte à fumée, et se contentent de mandriner fortement le tube pour l'appliquer exactement sur la tranche de la plaque tubulaire; les bords, qui font une légère saillie, sont rabattus et mandrinés. Cette disposition, qui exige une pose très-soignée, permet aux

fragments de coke entraînés dans les tubes de s'échapper plus facilement, et rend le nettoyage plus commode. Dans les machines où l'on brûle du bois, on supprime souvent les viroles de la boîte à feu, en soudant, à l'extrémité du tube, un bout en cuivre rouge, un peu plus épais que le reste, que l'on mandrine fortement et que l'on refoule à l'intérieur, en même temps qu'on le mate avec soin à l'extérieur.

On laisse un des trous inférieurs, dans la boîte à fumée, sans y placer de tube et on le ferme par un bouchon taraudé qu'on enlève pour nettoyer le corps cylindrique.

Dans ces dernières années, plusieurs établissements pour la fabrication des tubes sans soudure se sont montés. Les produits de quelques-uns d'entre eux sont accueillis avec faveur par certains ingénieurs; d'autres conservent encore des doutes ou au moins de très-sérieuses préventions relativement à l'altération du métal par l'étrépage, et à la durée des tubes.

L'écartement des tubes ne doit pas diminuer au-dessous de certaines limites; un vide de 0^m 013, ménagé entre deux tubes de la même rangée, est la plus petite dimension que l'on ait appliquée sans inconvénient; c'est même faible lorsque les tubes se recouvrent d'incrustations. Un écartement plus petit ne laisserait pas un passage suffisant à la vapeur; il pourrait se former ce que l'on appelle des *chambres de vapeur*, et les tubes recevraient des coups de feu. En outre, si l'écartement des tubes était trop faible, la plaque tubulaire du foyer serait trop affaiblie, et, en cas de réparation, il ne resterait plus de marge pour refaire les trous ovalisés, et même pour l'agrandissement forcé qu'occasionnent toujours le renouvellement et la pose des tubes. On donne, en construisant, aux trous de la plaque du foyer, un diamètre de 0^m 002 inférieur à celui des trous de la plaque opposée, et, après trois ou quatre changements de tube, les premiers se sont agrandis, par le refoulement du métal, au diamètre des derniers; cette différence est d'ailleurs nécessaire pour l'enlèvement facile des tubes qui se recouvrent d'incrustations. Par tous ces motifs, il nous semble que l'écartement le plus convenable à adopter est 0^m 017, de telle sorte que,

pour des tubes de 0^m 050 de diamètre extérieur, la distance de centre en centre soit de 0^m 067.

Les tubes sont disposés par rangées, en forme de quinconce (pl. 7, 8, 9). Quand ils sont très-longs, on les supporte dans leur milieu par une feuille de tôle, attachée au corps cylindrique et percée de trous correspondant à ceux des plaques tubulaires, mais laissant aux tubes un jeu de 0^m 005. En général cependant on peut, comme au chemin de fer du Nord, se dispenser de cette précaution.

La longueur des tubes aurait pour limite théorique celle qui ne laisserait plus aux gaz chauds qu'une faible température peu différente de celle de l'eau renfermée dans la chaudière; mais la longueur augmente la résistance à l'écoulement et nécessite un tirage plus actif, elle augmente la dimension et le poids de la machine entière; elle devrait, dans tous les cas, avoir pour correctif une augmentation du diamètre; il faut donc s'arrêter, dans la pratique, à une limite qui laisse encore aux gaz une température assez élevée dans la boîte à fumée.

Voici, à cet égard, l'opinion de MM. Brunel et Gooch, exprimée dans un rapport aux commissaires chargés par le Parlement de faire une enquête sur le chemin de fer de Birmingham : « Dans les chemins à voie de 4^m 50, on a cherché à compenser l'inconvénient de ne pouvoir donner une grande largeur à la boîte à feu par une augmentation de longueur de la chaudière; mais c'est une erreur de croire qu'on y gagne de la puissance, car nous avons expérimenté qu'il suffisait que la superficie totale des tuyaux fût égale à environ dix à onze fois la surface de la boîte à feu pour que ces tubes abandonnassent à l'eau de la chaudière toute la chaleur engendrée par la boîte à feu; et si en adoptant la proportion que nous indiquons, il passait encore une quantité de chaleur de quelque importance, il vaudrait mieux, pour y remédier, augmenter le nombre des tubes que les allonger, car, dans le premier cas, on arriverait au résultat par l'augmentation de la section d'écoulement, tandis que dans l'autre on serait forcé d'augmenter la contre-pression pour ob-

tenir le vide nécessaire dans la boîte à fumée, vide qui, dans les nouvelles machines à longues chaudières, s'est élevé à environ 0^m 27 de hauteur d'eau, tandis qu'il n'excède pas 0^m 12 à 0^m 15 dans les machines du Great-Western. »

§ 2. — Chaudière.

La chaudière enveloppe complètement le foyer et ses tubes; elle renferme l'eau qui produit la vapeur et la vapeur produite; elle est construite en entier en tôle de fer. Elle se compose toujours de deux parties qui ne présentent, d'une machine à l'autre, que des différences de forme peu importantes.

1^o BOÎTE À FEU EXTÉRIÈRE. — L'enveloppe extérieure de la boîte à feu, qui reçoit, dans le langage des praticiens, le nom de boîte à feu extérieure, épouse exactement à sa partie inférieure et moyenne la forme de la boîte à feu. Nous avons déjà dit comment elle se rattachait à celle-ci à sa base inférieure, et comment ses parois planes étaient soutenues contre l'effort dû à la tension de la vapeur, au moyen d'entretoises. L'espace compris entre les deux boîtes à feu est nécessairement très-restreint, car l'enveloppe extérieure ne peut pas faire saillie sur les longerons du châssis lorsqu'il est intérieur, ou venir toucher les roues, lorsque le châssis est extérieur; le foyer, d'un autre côté, doit avoir toute la largeur possible. On ne saurait donner, sans inconvénient, moins de 0^m 080 de largeur à la couche d'eau qui baigne la boîte à feu intérieure, une dimension trop restreinte rendrait difficile le mouvement de circulation de l'eau qui se renouvelle et de la vapeur qui se dégage; il pourrait se faire des *chambres de vapeur* qui compromettraient la conservation du foyer. Cependant on peut, comme l'ont fait certains constructeurs, réduire cet espace à la partie inférieure, pour donner plus de surface à la grille.

La partie supérieure de l'enveloppe du foyer affecte des formes diverses. La disposition la plus simple consiste à donner à la partie cylindrique un diamètre égal à la largeur de la boîte à feu

extérieure et à terminer celle-ci par un demi-cylindre, qui est le prolongement du corps cylindrique; celui-ci, sur sa demi-circumférence inférieure, se raccorde avec la paroi antérieure de la boîte à feu extérieure qui est emboutie à cet effet: la paroi postérieure de celle-ci s'élève verticalement jusqu'à la rencontre du demi-cylindre et elle a ses bords rabattus en forme de cornière pour lui servir d'attache (*fig. 1, 2, pl. 8*).

Une disposition un peu moins simple et plus anciennement employée consiste à donner au corps cylindrique un diamètre notablement inférieur à la largeur de la boîte à feu extérieure, à recouvrir celle-ci d'un demi-cylindre ayant un diamètre un peu plus grand que celui du corps cylindrique, qui s'y rattache par une double cornière (*fig. 1, pl. 5; fig. 1, pl. 6*). Le choix à faire entre ces deux formes dépend de la position et de la dimension des roues; on donne au corps cylindrique le plus grand diamètre possible, et si l'on n'est pas gêné par les roues, on évase la boîte à feu extérieure et le foyer intérieur, de telle sorte que celui-ci ait au plafond une largeur à peu près égale au diamètre du corps cylindrique; si les roues ont un trop grand diamètre et rendent cet évasement impossible, on donne à la boîte à feu extérieure, dont les parois restent verticales, une largeur égale à celle du corps cylindrique; on perd quelques tubes, mais l'ensemble de la disposition de la chaudière présente toujours un grand avantage pour la capacité du réservoir de vapeur. Nous ferons remarquer, toutefois, qu'on reproche à la combinaison qui consiste à donner au corps cylindrique un diamètre égal à la largeur de la boîte à feu intérieure, d'augmenter, sans absolue nécessité, le diamètre du corps cylindrique et par suite le poids des tôles dont l'épaisseur est fixée par les règlements proportionnellement au diamètre; de telle sorte que quelques ingénieurs préfèrent systématiquement celle qui réduit le corps cylindrique au plus petit diamètre.

Une troisième forme a été très-souvent employée, mais on y renonce généralement; elle a été introduite par Robert Stephenson et est restée longtemps comme le signe caractéristique des machines construites sur ses plans. Elle s'obtient (*fig. 1, pl. 5*) en

prolongeant les faces verticales de la boîte extérieure jusqu'à la hauteur de l'arête supérieure du corps cylindrique, en les raccordant deux à deux, les faces latérales entre elles, et la face d'avant avec celle d'arrière, par des portions de surfaces cylindriques qui se coupent en arc de cloître. Il résulte de cette construction une capacité assez considérable qui sert de dôme de prise de vapeur. On désigne communément ces chaudières sous le nom de chaudières à *dôme carré*.

Lorsque la boîte à feu extérieure est recouverte par un demi-cylindre, la partie supérieure de sa paroi d'arrière est reliée avec la partie supérieure de la plaque tubulaire de la boîte à fumée par des tirants en fer qui sont nécessaires pour empêcher la pression de déformer ces parties planes; mais il est plus avantageux de consolider les parois planes par un système d'armatures analogues à celles qui sont appliquées sur le ciel du foyer, de manière à rendre l'intérieur de la chaudière accessible pour la visite, le nettoyage et les réparations. Cette disposition a été appliquée avec succès par M. C. Polonceau, qui a trouvé de nombreux imitateurs, pour remplacer les tirants qui vont de la paroi postérieure de la boîte à feu à la plaque tubulaire de la boîte à feu; ces parois planes sont consolidées au moyen de cornières (*fig. 3, pl. 7, et pl. 67*).

2° CORPS CYLINDRIQUE. — Le corps cylindrique se compose de feuilles de tôle assemblées, au moyen de rivets, à recouvrement les unes sur les autres (*fig. 1, pl. 5 et 6*), ou réunies par des bandes de tôle rivées sur le bord de chaque feuille (*pl. 64*). Ainsi que nous l'avons dit, on assemble le corps cylindrique avec la boîte à feu extérieure au moyen de cornières; mais le plus souvent on prépare la plaque antérieure de celle-ci en y découpant un cercle d'un diamètre plus petit que le corps cylindrique, et en repoussant les bords du trou ainsi obtenu, de manière à former sur tout son pourtour une saillie cylindrique à laquelle s'attache le cylindre; les bords de cette plaque sont également repoussés pour servir d'attache aux parois latérales de l'enveloppe du foyer. — Cette

construction est rendue facile par la qualité des tôles au bois fabriquées en France.

Le corps cylindrique se rattache, au moyen d'une cornière, avec la plaque tubulaire de la boîte à fumée dont la largeur excède son diamètre. La cornière doit être faite en fer de première qualité et assujettie très-solidement, à cause des tiraillements qu'occasionne la dilatation, et de la fatigue qu'éprouve cette partie de la chaudière. Souvent on prolonge la partie cylindrique de la chaudière pour former la boîte à fumée, sur un même diamètre; la plaque tubulaire porte un rebord, obtenu par emboutissage que l'on rive sur le cylindre commun à la chaudière et à la boîte à fumée.

Nous indiquerons plus loin, en traitant des prescriptions réglementaires, les épaisseurs que doivent présenter les diverses parties de la chaudière. Sa longueur est réglée sur celle des tubes. Le diamètre dépend de plusieurs éléments; il doit être réglé sur la largeur de la boîte à feu, dans quelques cas sur celle de son enveloppe extérieure; lorsque les ressorts de suspension sont placés au-dessus du châssis, comme on le verra plus loin, et qu'en même temps on veut éviter d'exhausser la chaudière, le diamètre du corps cylindrique se trouve limité par leur écartement. Quelques constructeurs, surtout à l'étranger, ont, dans le but de remédier à cet inconvénient, ovalisé le corps cylindrique, en donnant aux deux axes une différence quelquefois même considérable. Dans ce système, qui n'est guère accepté en France, il importe au moins de toujours placer des tirants horizontaux, pour empêcher, sinon la rupture, du moins la déformation de la chaudière et la fatigue de ses assemblages. — Le diamètre intérieur du corps cylindrique est, au minimum, de 0^m 95 à 0^m 97; il n'a pas jusqu'ici dépassé 1^m 50 dans les machines faites pour les chemins à petite largeur de voie.

Pour éviter autant que possible la déperdition de la chaleur, on enveloppe le corps cylindrique de la chaudière de matières peu conductrices. Anciennement, on mettait une première couverture en gros feutre, et par-dessus des douves en bois de sapin ou d'a-

cajou maintenues par des cercles en fer feuillard et assemblées entre elles à rainure et languette. On arrive maintenant à placer directement sur la tôle, en ayant cependant soin de laisser entre deux une couche d'air de 10 à 15^{mm}; des douves en bois enfoncées dans une enveloppe en tôle de fer ou en laiton mince.

La boîte à feu extérieure peut être recouverte de la même manière, mais on doit recouvrir *en tôle seulement* toute la partie qui est inférieure à la plate-forme du mécanicien et qui peut être atteinte par la flamme qui sort quelquefois au-dessous de la grille. Il vaut mieux la laisser découverte pour éviter la rapide oxydation que produiraient, dans un espace fermé, les fuites qui ont lieu souvent dans cette partie de la chaudière.

3^o PORTE ET TROU D'HOMME. — La porte est de forme ovale ou rectangulaire avec angles arrondis; le trou qu'elle ferme est percé à travers les parois postérieures des deux boîtes à feu, qui sont reliées par un anneau en fonte ou fer forgé et des entretoises qui traversent l'épaisseur de cet anneau. Elle est en tôle de 0^m 01 d'épaisseur, et garnie intérieurement d'une autre plaque qui en est maintenue à 0^m 06 ou 0^m 07 de distance par des entretoises en fer; cette plaque reçoit l'action directe du feu, concourt à empêcher le refroidissement et conserve la porte. La porte a deux pentures qui s'appliquent sur deux gonds fixés sur la chaudière; elle a, en outre, un loqueteau en acier trempé qui s'engage dans une gâche fixée à la chaudière. Une chaînette, dont l'extrémité est à la main du mécanicien, lui sert à lever le loqueteau et en même temps à tirer la porte, qu'il repousse avec son pied pour la refermer; le loqueteau forme ressort ou bien est maintenu par un ressort.

On dispose généralement une tôle en forme d'auvent au-dessus de la porte, pour empêcher la flamme de monter le long de l'enveloppe; et pour préserver le mécanicien de la chaleur qui rayonne du foyer, lorsque cette porte est ouverte en stationnement.

La porte est placée à 0^m 10 environ au-dessus de la plate-forme; elle a habituellement 0^m 35 sur 0^m 27 d'ouverture.

Le *trou d'homme* sert à la visite et à la réparation de la chaudière, et plus spécialement pour le régulateur lorsqu'il est intérieur; il est alors placé au-dessus ou près de celui-ci. Il consiste souvent dans le dôme de prise de vapeur lui-même, qui se démonte à un ou même à deux points de sa hauteur (*fig. 1, pl. 6*). Dans les machines à dôme carré, il est elliptique et bouché par un disque en fonte à fermeture autoclave (*fig. 1, pl. 5*). Il est indispensable, dans tous les cas, qu'un trou d'homme soit placé au-dessus du foyer, afin de faciliter sa visite et son nettoyage si important. Dans ce but le siège des soupapes de sûreté est disposé de manière à s'enlever comme le dôme de prise de vapeur, en laissant l'ouverture voulue.

4^e BOITE A FUMÉE. -- La boîte à fumée (*pl. 9*) correspond à l'enveloppe extérieure de la boîte à feu; seulement, elle ne descend pas aussi bas que celle-ci; elle est fermée, au-dessous du corps cylindrique de la chaudière, par une paroi plane, ou mieux par un demi-cylindre qui forme, avec la partie supérieure, un cylindre complet. Dans les anciennes machines à cylindres intérieurs et à tiroirs en dessus, et même dans des locomotives de construction toute récente, la boîte à fumée se prolonge à la partie inférieure et elle enveloppe complètement les cylindres pour leur servir de support. La paroi postérieure est formée par la plaque tubulaire; la paroi antérieure est percée d'une large ouverture fermée par une porte, servant au nettoyage et à la réparation des tubes, du tuyau d'échappement, etc.

La forme et les moyens de fermeture de la porte sont assez variables; elle est ou rectangulaire et à deux battants, ou circulaire avec charnière verticale, ou demi-circulaire avec charnière horizontale. Dans les deux derniers cas, elle ferme au moyen de plusieurs verrous intérieurs, commandés par une manette commune; dans le premier cas, la fermeture se fait au moyen d'une barre fixée à l'une des portes et qui s'agrafe sur l'autre au moyen d'un verrou de forme spéciale. Dans tous les cas, la porte doit fermer exactement, pour ne pas laisser des rentrées d'air nuisibles au tirage; aussi la fait-on appliquer ordinairement sur un fer de cor-

nière, en saillie, qu'on peut dresser et qui a encore l'avantage de consolider cette partie de la boîte à fumée et de l'empêcher de se voiler sous l'action de la chaleur (*fig. 1, pl. 9*). Pour empêcher la porte de se déformer par l'action de la chaleur, on la double d'une plaque maintenue à quelque distance, comme pour la porte du foyer. La paroi antérieure de la boîte à fumée, lorsque la porte ne démasque pas entièrement la plaque tubulaire, est percée à sa partie supérieure d'un trou qui sert à l'introduction et à l'enlèvement de la partie du tuyau de prise de vapeur qui est à l'intérieur de la chaudière.

Les parois latérales et le dessus de la boîte à fumée sont d'une seule feuille de tôle, fixée sur les autres parois au moyen de cornières. — Le fond de la boîte à fumée, lorsque le dessous est libre, par exemple, dans le cas des machines à cylindres extérieurs, ou des cylindres intérieurs entièrement enveloppés, est percé d'un trou qui sert à vider les cendres, et qui est fermé par une petite porte à coulisse ou à charnière. La fermeture de cette porte doit être faite avec beaucoup de soin, car, aussitôt qu'elle s'ouvre, le tirage est fortement diminué.

La plaque des tubes doit avoir à l'endroit des tubes 0^m 015 à 0^m 016 d'épaisseur; les autres parois ont de 0^m 005 à 0^m 008 d'épaisseur. — Lorsque les cylindres sont intérieurs, la plaque tubulaire et souvent aussi celle de la porte se prolongent à la partie inférieure pour servir, concurremment avec les parois latérales, de support aux cylindres (*fig. 1, pl. 64*).

La boîte à fumée s'use vite, par l'action simultanée des gaz chauds et de la vapeur d'eau; au bout de six à sept années, elle est détruite par l'oxydation; il est donc nécessaire de n'employer, pour la construction que des matériaux de bonne qualité, si l'on tient à en assurer la conservation.

Les dimensions de la boîte à fumée doivent être *en principe*, aussi restreintes que possible, car l'effet immédiat du tirage, produit par l'échappement, est de dilater l'air compris dans sa capacité; cette raréfaction étant opérée par suite de la diminution de pression qui en est la conséquence, les gaz chauds qui remplissent

les tubes et à leur suite ceux qui remplissent la boîte à feu, s'y précipitent, pour faire place à l'air frais que la différence de pression fait passer à travers la grille et à travers le combustible; il est évident que, pour une même action produite par l'échappement de la vapeur dans la cheminée, la dilatation sera d'autant plus grande, dans la boîte à fumée, que celle-ci aura un plus petit volume, et, par suite, l'appel de l'air à travers le foyer sera plus énergique. Il paraît cependant qu'il y a dans la pratique une limite à cette réduction des dimensions de la boîte à fumée, au delà de laquelle elle cesse d'être avantageuse. Un des meilleurs moyens d'opérer cette réduction consiste à placer une plaque horizontale au-dessus de la rangée supérieure des tubes, et à faire descendre la cheminée jusqu'à cette plaque qui est assemblée par des cornières avec les parois verticales (*pl. 9, fig. 2*); M. J.-J. Meyer, de Mulhouse, a appliqué cette disposition, dès l'année 1845, à des machines locomotives qui lui avaient été commandées par le gouvernement autrichien, qui, à son tour, l'a adoptée pour le reste de son matériel. Plusieurs constructeurs français ont adopté cette disposition. Indépendamment de la réduction de volume, il y a plusieurs avantages à isoler ainsi la partie supérieure de la boîte à fumée de la partie inférieure; la cheminée se trouve notablement allongée et le tuyau d'échappement est raccourci d'une quantité considérable, les joints du tuyau de prise de vapeur ne sont pas altérés par l'action de la chaleur.

5° CHEMINÉE. — La cheminée est de forme cylindrique et construite d'une seule feuille de tôle de 0^m 004 à 0^m 005 d'épaisseur; elle se place sur le sommet de la boîte à fumée, à laquelle on la rattache par des boulons, dont il faut avoir soin de placer les écrous en dehors pour faciliter le démontage. — La cheminée reste le plus souvent cylindrique jusqu'au sommet (*pl. 9, fig. 5*), et l'évasement qu'elle porte à la partie supérieure n'est alors qu'un ornement; mais elle s'évase souvent à la base sur une petite partie de sa hauteur (*fig. 1 et 3, pl. 9*); cette disposition, dont l'utilité a été souvent contestée, est cependant consacrée par

l'expérience, et elle tend à devenir générale; elle facilite l'écoulement des gaz et remédie en partie à l'étranglement qu'occasionne le tuyau d'échappement qui doit s'engager de quelques centimètres dans la cheminée.

Dans les machines très-élevées dont la cheminée est trop restreinte en hauteur, on descend la base évasée de celle-ci jusqu'au niveau des tubes (*fig. 2, pl. 9*).

La hauteur de la cheminée est insuffisante pour exercer une influence très-marquée sur le tirage; elle ne pourrait, dans aucun cas, suffire à elle seule pour le produire, mais il est essentiel de la rendre aussi grande que possible, soit pour augmenter le tirage constant, soit pour rendre plus efficace l'action du jet de vapeur. — En France, la hauteur des cheminées est généralement limitée à 4^m 25 au-dessus du rail, la hauteur normale des ouvrages d'art étant de 4^m 30. La hauteur effective de la cheminée varie suivant la hauteur de la chaudière de 1^m 60 à 2^m; son diamètre intérieur varie de 0^m 33 à 0^m 45. La comparaison des dimensions, relevées sur un grand nombre de machines, donne 0,70 pour le rapport de la section de la cheminée à la section totale des tubes garnis de leur virole. Il y a un rapport nécessaire entre ces éléments, mais aucune donnée théorique, aucune expérience connue ne peut servir de point de départ dans la construction, aussi remarque-t-on des différences assez marquées d'une machine à l'autre; c'est là une lacune regrettable qu'il serait facile de combler par quelques expériences peu coûteuses.

La cheminée doit être surmontée d'un *capuchon* ou *clapet*, formé d'un disque de tôle mobile autour d'une charnière fixée sur le bord même de la cheminée, ou autour d'une tige verticale, portée par une crapaudine et des guides fixés le long du tuyau, et se rattachant à ce disque par une patte rivée sur son bord.

Souvent on fait du chapiteau qui orne la cheminée une sorte de gouttière, dans laquelle se rassemble en grande partie l'eau entraînée, lorsque la machine *prime* ou crache; un tuyau de descente la conduit le long de la cheminée et de la boîte à fumée jusqu'au dessous de la machine (*pl. 9, fig. 4*).

On facilite le tirage en surmontant la cheminée d'un écran, qui a pour effet de substituer un orifice oblique à l'orifice ordinaire, placé dans un plan horizontal. Le vent devient alors l'auxiliaire, par du tirage, le vide tendant à se faire derrière la cheminée, par suite même du mouvement. Cet écran doit pouvoir se rabattre pour qu'il soit possible de capuchonner la machine pendant les stationnements et pour ne pas contrarier le tirage pendant la marche en arrière.

On l'a même quelquefois, à l'imitation des bateaux à vapeur du Rhône exposés au mistral, rendu mobile et obéissant à tous vents à l'aide d'une sorte de girouette, afin que la bouche de la cheminée émette ses gaz dans la même direction que le courant du vent, lui-même. Cette disposition est applicable surtout aux lignes qui traversent des gorges de montagnes et des vallées, où des raffales d'une extrême violence peuvent tout à coup venir s'engouffrer dans la cheminée.

§ 3. — Accessoires de la chaudière.

1^o CENDRIER. — Le *cedrier* a pour objet d'arrêter les escarbilles et les morceaux de combustible incandescents tombant à travers la grille, et qui, lancés violemment par les roues, lorsqu'elles les atteignent en rebondissant sur le sol, peuvent devenir la cause d'incendies, soit dans le train remorqué par la machine, soit sur les talus, soit même en dehors de l'enceinte du chemin de fer. — Les exemples d'incendies de moissons, de bois, de maisons couvertes en chaume, ne sont pas rares. Il est plus difficile de constater la cause des incendies qui se déclarent dans les trains en marche; mais il y a tout lieu de croire que, lorsqu'ils sont allumés par des fragments de combustible échappés de la machine, c'est par la grille que ces fragments sont sortis; ainsi l'on a trouvé des fragments de coke engagés dans les pièces de bois qui composent les châssis des wagons, et qui étaient en partie carbonisés

à leur contact; on a recueilli dans des coupés de voitures des fragments de coke qui y avaient mis le feu et qui avaient des dimensions plus grandes que le diamètre des tubes.

On voit enfin souvent les fragments de coke s'engager dans les roues des wagons, et décrire des cercles de feu jusqu'au moment où ils sont complètement éteints. Tous ces faits prouvent la nécessité d'appliquer des cendriers à toutes les machines, pour éviter des incendies qui pourraient devenir la cause de très-graves accidents. Au point de vue de la sécurité, il suffit de les disposer de manière à retenir les fragments de coke au moment où ils tombent à travers la grille; on peut se contenter d'une simple plaque de tôle à bords relevés, suspendue au-dessous du foyer, ou mieux encore de plaques verticales disposées sur les côtés et à l'arrière, guidant jusque sur le sol les fragments de coke et les empêchant de rebondir sur les rayons des roues. Mais il peut convenir, lorsqu'on a la place nécessaire, d'utiliser ces appareils pour régler le tirage, surtout pendant le stationnement des machines. On ferme alors complètement les trois faces d'arrière et de côté, en pratiquant dans la première une petite porte qui sert à introduire un râble pour vider le cendrier lorsqu'on pique ou jette le feu; on dispose sur le devant une large porte à charnière horizontale que le mécanicien manœuvre à volonté, au moyen d'un levier placé à sa main. Cette porte peut être manœuvrée pendant la marche pour régler le tirage, lorsque la machine n'a pas de tuyau d'échappement variable; elle doit être fermée pendant les temps d'arrêt et de stationnement (*fig. 1, pl. 56 et 58*). Il convient de ménager dans le fond du cendrier une sorte de trou d'homme, fermé par une plaque de tôle rapportée, et qui permet de pénétrer dans le foyer sans qu'on soit obligé de démonter l'appareil entier.

Les cendriers fermés ont un double inconvénient: trop peu profonds, ils font brûler les barreaux de la grille, et d'autre part ils obligent à donner plus de hauteur au foyer au-dessus du sol, car il faut que leur embouchure soit assez large pour laisser affluer toute la quantité d'air nécessaire à la combustion, et de plus, il faut qu'ils restent eux-mêmes à une certaine hauteur au-dessus du

ballast. On peut encore les appliquer à la rigueur lorsque la hauteur au-dessous du foyer est réduite à 0^m35.

Un autre inconvénient que présentent ces appareils, est qu'ils empêchent de jeter le feu rapidement, en cas d'accident ou d'avarie; par contre, leur présence peut suffire pour prévenir l'incendie du train, à la suite d'un accident qui ferait monter les wagons sur la machine ou une machine sur un train qu'elle viendrait heurter violemment à l'arrière. Quoi qu'il en soit, on ne peut qu'en recommander l'application lorsqu'elle n'offre pas de difficulté sérieuse d'installation.

2^o APPAREILS POUR ARRÊTER LES FLAMMÈCHES. — On a employé des appareils très-divers, quant à leur forme et à leur position, pour arrêter les flammèches qui s'échappent par la cheminée, et qui, bien qu'infiniment moins dangereuses que les fragments de coke tombant de la grille, peuvent encore occasionner des incendies. La disposition la plus convenable consiste à former avec de petites tringles de fer méplates, hautes de 0^m 01 et placées de champ transversalement à l'axe de la machine, une grille retenue par un cadre, que l'on assujettit dans la boîte à fumée, au-dessus de la rangée supérieure des tubes. Les fragments de coke, même très-petits, qui s'échappent des tubes, viennent frapper les barreaux de la grille et sont rejetés au fond de la boîte à fumée, tandis que les gaz passent à travers la grille et arrivent à la cheminée. — On pourrait augmenter l'écartement des barreaux en les inclinant, de telle sorte que les tubes ne puissent pas voir l'espace compris au-dessus de la grille. Il est inutile de donner à la grille une largeur exactement égale à celle de la boîte à fumée, car les escarbilles ne peuvent arriver à la cheminée qu'en vertu de la vitesse acquise dans les tubes, et ne peuvent pas être entraînées vers son orifice lorsqu'elles ont pris une direction différente de celle des gaz chauds.

On a imaginé, en Allemagne, un appareil très-ingénieux pour arrêter les flammèches de charbon de bois. Il est basé sur ce principe qu'un corps solide, animé d'une grande vitesse, continue

à suivre sa direction initiale pendant un certain temps, lorsque la force qui le sollicite a cessé d'agir, tandis que les gaz, à raison même de leur faible masse, peuvent éprouver des changements de direction très-brusques; l'appareil opère un véritable *départ* entre les flammèches et les produits de la combustion.

3^o REGISTRES. — Les registres sont destinés à fournir un moyen de modérer le tirage pendant la marche; ils consistent en un trou percé sur le côté de la boîte à fumée et fermé par une valve que le mécanicien fait glisser dans ses guides au moyen d'une tige dont l'extrémité est à sa main. Lorsqu'on ouvre le registre, le tirage de la cheminée fait entrer l'air extérieur dans la boîte à fumée; le vide ne s'y fait plus ou s'y fait moins complètement, et l'appel de l'air à travers la masse de combustible n'a plus lieu ou se trouve amoindri. On donne habituellement au registre unique que porte chaque machine une ouverture de 0^m 25 sur 0^m 20 (fig. 1, pl. 57).

Divers constructeurs anglais emploient, pour modérer le tirage, un appareil en forme de persiennes ou de jalousie, placé devant les tubes, dans la boîte à fumée. Cet appareil fonctionne en couvrant les tubes en tout ou en partie, selon l'inclinaison qu'on donne aux lames de tôle qui forment la jalousie; ces lames, d'ailleurs, peuvent découvrir complètement les tubes quand le tirage doit être porté à son maximum.

4^o SOUPAPES DE SURETÉ. — On place deux soupapes sur chaque machine, pour donner issue à la vapeur lorsqu'elle se forme en excès. — Les fig. 1, 2, 3 et 4, pl. 10, représentent la disposition la plus généralement adoptée. Les deux soupapes sont placées, l'une à côté de l'autre, sur un siège commun qui porte en même temps le sifflet d'alarme. La soupape est formée d'un disque en bronze, portant une queue mobile dans un guide, et reposant sur son siège par une surface conique d'une très-petite étendue. La soupape est pressée par une tige qui s'appuie sur son centre, et

qui est pressée elle-même par un levier à l'extrémité duquel agit un ressort.

Cette disposition de soupape exige une très-grande exactitude dans le montage, car si la tige exerce une poussée oblique sur le disque de la soupape, celle-ci ne se lèvera pas également, et il faudra souvent une surcharge considérable pour l'empêcher de perdre. Il y aurait tout avantage à appliquer aux soupapes de machines locomotives le système de M. Chaussenot aîné, qui consiste à placer le point d'appui de la tige, qui transmet la charge du levier, au-dessous de la zone de contact; la fermeture est beaucoup plus exacte à degré égal de perfection dans le montage.

La charge du levier ne peut pas être établie au moyen de poids; on se sert d'un ressort auquel on s'est habitué, dans la pratique, à donner le nom de *balance*. D'assez nombreuses dispositions ont été adoptées; la fig. 1, pl. 10, représente l'une de celles qui existent au chemin de fer du Nord. Un ressort à boudin, enfermé dans un cylindre, est attaché par son extrémité inférieure au fond de ce cylindre, qui, lui-même, est fixé à la chaudière; l'extrémité supérieure du ressort est attachée à une tige taraudée, traversant un œil qui termine le levier de la soupape, et arrêtée par un écrou; en manœuvrant cet écrou, on tend ou l'on détend à volonté le ressort, et l'on donne au levier la charge qui correspond à ses dimensions, à celle de la soupape et à la limite de tension que la vapeur ne doit pas dépasser dans la chaudière. Le ressort à boudin peut être attaché, par sa partie supérieure, au cylindre, et se relier à la tige par son extrémité inférieure; sa tension augmente alors par compression. La tige qui tend le ressort porte un index, qui glisse dans une rainure pratiquée suivant une arête du cylindre enveloppe, à la surface duquel est tracée l'échelle des pressions. L'emploi des balances a l'inconvénient d'augmenter la charge des soupapes au fur et à mesure qu'elles s'ouvrent pour livrer passage à la vapeur; on a tâché d'y remédier en augmentant la longueur des balances, de manière à augmenter la longueur des divisions de l'échelle cependant, l'expérience démontre que, depuis le mo-

ment où les soupapes commencent à souffler jusqu'à celui où toute la vapeur produite s'écoule librement, le manomètre monte de près d'une atmosphère. Pour remédier à cet inconvénient, il conviendrait d'employer la seconde disposition que nous venons d'indiquer, en donnant au ressort à boudin une compression initiale de 3 à 4 atmosphères, de telle sorte que toute la course disponible dans l'enveloppe correspondît aux augmentations de pression qui auraient lieu à partir de cette limite inférieure. On arriverait, de cette manière, à rendre beaucoup plus libre l'ouverture des soupapes, lorsque la limite de tension serait atteinte. — Nous recommandons aux constructeurs l'étude de cette modification qui est, du reste, destinée à prendre place dans les prescriptions administratives, pour les chaudières de locomotives timbrées à très-haute pression. — On a souvent signalé l'inconvénient qu'il y avait à fendre le cylindre enveloppe, par une rainure qui donne passage au style; l'eau et les ordures entrent dans ce cylindre et finissent par gêner le jeu du ressort; il convient de modifier cette disposition, en attachant la tige supérieure au cylindre enveloppe, et en attachant le ressort, par sa partie inférieure, à ce cylindre, et par sa partie supérieure, à une tige fixée sur la chaudière, qui porte elle-même les divisions.

Nous indiquerons plus loin, en examinant les mesures de sûreté réglementaires, quelles sont les dimensions adoptées pour les soupapes et le mode de calcul consacré pour déterminer leur charge.

Il convient de disposer sur la tige, qui relie le ressort à boudin à l'extrémité du levier de la soupape, un arrêt qui limite la charge que le mécanicien peut donner à la balance au moyen de l'écrou, afin d'éviter que, dans un moment donné, pour surmonter un obstacle accidentel ou entraîner un convoi trop lourd, il ne surcharge la soupape.

Une disposition spéciale a été imaginée par MM. Lemonnier et Vallée pour obvier à cet inconvénient. La tige qui agit sur le ressort présente un système de levier tel que lorsque le serrage donné à la main, ou la pression exercée par la vapeur, dépasse une

certaine limite, un déclic part et permet à la tige de s'allonger subitement d'une certaine quantité; la soupape s'ouvre instantanément d'une quantité très-notable et fournit un large échappement à la vapeur.

5° MANOMÈTRES. — L'utilité de l'application des manomètres aux machines locomotives est incontestable; mais l'imperfection des appareils employés a été longtemps un obstacle à ce que l'on obtint de ces instruments tous les services qu'ils peuvent rendre; ce n'est que par un entretien minutieux que l'on peut arriver à assurer la régularité de leur marche. On a construit d'abord, il y a environ quinze ans, des *manomètres à piston* pressant sur un ressort à boudin; un robinet, ouvert par le mécanicien chaque fois qu'il voulait observer la tension de la vapeur, mettait l'appareil en charge; la position occupée sur l'échelle par un index attaché au piston, indiquait le nombre d'atmosphères qui mesurait la tension de la vapeur. Cet appareil ajoutait peu de chose aux indications qu'un mécanicien exercé peut obtenir en soulevant les balances et en estimant d'après l'effort qu'il doit exercer pour faire souffler la soupape, de combien la vapeur est au-dessous de sa tension limite. Il fallait un instrument toujours en fonction, placé sous les yeux du mécanicien, sur lequel il pût lire à chaque instant, et sans y songer en quelque sorte, les variations de tension.

On a essayé, sur une grande échelle, le *thermomano-mètre*, ou thermomètre gradué en atmosphères; mais la fragilité de cet instrument qui, du reste, avait l'inconvénient d'être lent dans ses indications, l'a fait abandonner. On a employé plus tard, vers la fin de l'année 1845, le *manomètre à air libre de Richard*, dont le principe, indiqué depuis longtemps, n'avait pas encore reçu d'applications suivies. Cet instrument se compose d'un syphon à plusieurs branches, en communication les unes avec les autres, remplies de mercure à la partie inférieure, d'eau à la partie supérieure, de telle sorte que les différences de niveau du mercure dans chaque syphon partiel s'ajoutent. Cet instrument, quoique

coûteux de premier achat et d'un entretien assujettissant, remplissait assez complètement le but que l'on doit se proposer d'atteindre. On lui a plus tard préféré un simple *manomètre à air comprimé*, disposé pour rendre le nettoyage et la rectification faciles; mais il est également assez assujettissant, à cause des dérangements fréquents qu'il éprouve; du reste, il n'est susceptible, comme tous les manomètres à air comprimé, que d'une exactitude restreinte.

On a employé ensuite, le *manomètre différentiel à air libre* de Galy-Cazalat, construit par Journeux, cessionnaire du brevet de cet inventeur. Dans cet instrument, la vapeur agit sur un piston d'un certain diamètre, le mercure sur un piston d'un diamètre plus grand; des membranes en caoutchouc vulcanisé, qui s'appuient sur la surface de chaque piston, forment joint et empêchent l'eau ou le mercure de pénétrer dans le cylindre dont la capacité intérieure communique avec l'atmosphère. En proportionnant convenablement la surface des deux pistons, on arrive à donner à la colonne de mercure, mobile dans le tube de verre, une longueur aussi faible que l'on veut, et l'on donne à l'instrument des proportions très-restreintes.

Les *manomètres métalliques* sont ceux qu'on emploie le plus en ce moment. Ils consistent en un tube de cuivre enroulé en spirale ou en hélice, fermé par un bout et communiquant par l'autre extrémité avec la chaudière; la pression exercée par la vapeur tend à redresser le tube et à le ramener à la forme rectiligne; la spirale ou l'hélice se déforme dans les limites d'élasticité du métal, et son extrémité, en se déplaçant, agit par l'intermédiaire d'un levier sur un cadran.

Ces quatre derniers manomètres peuvent fonctionner, d'une manière utile, pourvu qu'ils soient entretenus et surveillés avec soin. Ils se vendent tout prêts à mettre en place, chez les fabricants qui les construisent. Nous ne pensons pas qu'il soit utile de les décrire d'une manière plus complète.

6° INDICATEURS DE NIVEAU D'EAU. — Il est indispensable, dans

toute chaudière à vapeur, et surtout dans une chaudière de machine locomotive, de pouvoir vérifier; à chaque instant, le niveau de l'eau. On se sert d'abord pour cela d'un tube en cristal, monté sur deux tuyaux en communication avec la chaudière, l'un placé au-dessous, l'autre au-dessus du niveau que l'eau doit atteindre habituellement (*fig. 5, 6 et 7, pl. 10*). Deux robinets servent à intercepter la communication avec la chaudière lorsque le tube vient à se briser; un troisième robinet doit être placé à la partie inférieure du tube, pour permettre au mécanicien de vérifier, de temps en temps, si les tuyaux qui amènent l'eau et la vapeur ne sont pas obstrués; il communique avec un tuyau qui aboutit sous la plate-forme. Le tube de verre est assujéti sur ses deux supports au moyen de *presse-étoupes*.

Indépendamment du tube indicateur de niveau d'eau, on doit disposer sur la chaudière trois robinets d'épreuve, placés à des niveaux différents, pour servir dans le cas où le niveau d'eau ne fonctionnerait pas, et même pour vérifier les indications de cet appareil. A proximité du niveau d'eau, on dispose un support sur lequel on place une petite lanterne qui éclaire, pendant la nuit, le tube de verre, sur lequel le mécanicien doit jeter fréquemment les yeux.

Stephenson a groupé ces deux appareils de sûreté en un seul, représenté *fig. 5 et 6, pl. 10*. Un cylindre en bronze communique avec la chaudière; haut et bas, et reçoit, d'un côté le niveau d'eau, de l'autre trois robinets d'épreuve; en regard des trous de communication avec la chaudière sont disposés des bouchons à vis, que l'on enlève pour nettoyer ces trous qui tendent toujours à s'obstruer par le dépôt des incrustations. Cette disposition a été longtemps en faveur; mais on reconnaît maintenant qu'elle présente un inconvénient qui doit la faire repousser complètement. En effet, si les trous et les tuyaux de communication se bouchent, le niveau d'eau et les trois robinets d'épreuve cessent à la fois de donner des indications, tandis qu'ils devraient se suppléer les uns les autres.

On doit s'arranger pour que la partie inférieure du tube soit

environ de 0^m 01 plus haute que le niveau supérieur du plafond du foyer; dans plusieurs cas, des mécaniciens, trompés par la disposition du tube qui contenait encore une colonne d'eau assez haute, lorsque le foyer découvrait, ont endommagé gravement des foyers en n'alimentant pas assez tôt.

On ajoute généralement aux moyens de sûreté qui viennent d'être indiqués, une disposition très-simple et qui a rendu souvent d'utiles services; on place, dans le ciel du foyer, un écrou en fer, vissé dans l'épaisseur du métal, et dans lequel on coule du plomb. Ce bouchon fond lorsque le niveau de l'eau s'abaisse jusqu'au point de découvrir le foyer; la vapeur s'échappe et, en même temps qu'elle modère l'activité du feu, elle attire l'attention du mécanicien qui prend les mesures nécessaires pour éviter l'avarie du foyer.

On a eu souvent le tort de donner au bouchon fusible une forme cylindrique ou un diamètre trop grand, de telle sorte qu'il a pu, dans certaines circonstances, être chassé par la seule pression de la vapeur; en lui donnant une forme conique très-prononcée, ou en taraudant profondément le trou dans lequel on coule le plomb, on remédie à cet inconvénient. On peut regarder l'application du bouchon fusible comme étant indispensable. Mais il faut le changer de temps en temps, car il peut ne plus adhérer et alors sauter mal à propos. Lorsqu'il est trop ancien et couvert d'oxyde son point de fusion est considérablement retardé.

7^o SIFFLET. — Le *sifflet à vapeur* est placé sur la partie postérieure de la chaudière, à la portée du mécanicien, qui s'en sert pour annoncer l'arrivée du train, pour donner le signal d'avertissement pour la mise en marche, pour faire serrer et desserrer les freins. Il se compose, *fig. 1, pl. 10*, d'un réservoir percé d'une fente annulaire très-étroite, au-dessus de laquelle est placée une cloche en bronze, à bords amincis. En ouvrant un robinet, ou une valve qui remplit la même fonction, la vapeur vient frapper la cloche et la fait vibrer. — Quelquefois on adopte, pour un même chemin de fer, deux sifflets de forme et de sons différents; l'un est appliqué

aux trains de voyageurs, l'autre aux trains de marchandises ; cette différence est utile pour le service de l'exploitation,

8° **ROBINETS ET BOUCHONS DE VIDANGE.** — Indépendamment du bouchon qui occupe la place d'un tube dans la boîte à fumée et qui sert pour le nettoyage du corps cylindrique, on place des *bouchons* taraudés, ou des bouchons autoclaves au bas et aux quatre angles de la boîte à feu extérieure, pour en extraire les dépôts et arracher, autant que possible, les incrustations, au moyen de burins et de tringles en fer. Les bouchons à vis sont d'un usage commode ; mais, pour éviter une prompte usure, il faut rapporter, pour leur servir d'écrou, une pièce de fer plus épaisse que la tôle de la boîte à feu. Généralement on leur préfère les bouchons autoclaves.

On dispose, en outre, *fig. 8 et 9, pl. 10*, des *robinets de vidange* de chaque côté de la boîte à feu extérieure, pour vider la chaudière à chaud ; ils sont manœuvrés à l'aide d'une manette placée sur la plate-forme et au moyen de laquelle le mécanicien peut vider, pendant la marche, une partie de l'eau, quand la chaudière est trop pleine. La disposition indiquée dans cette figure a été adoptée par quelques constructeurs pour toute la robinetterie en général. — Quelquefois on place un robinet de vidange à la hauteur du niveau que l'eau doit occuper dans la chaudière, pour la purger lorsque l'eau est chargée de matières grasses ou émulsives qui font cracher ou primer la machine.

5 4. Appareils de prise de vapeur et d'échappement.

La vapeur formée dans la chaudière doit être conduite aux cylindres et, après avoir agi sur les pistons, s'échapper dans la cheminée où elle produit le tirage ; il résulte de là un ensemble de dispositions spéciales qui réclament toute l'attention du constructeur ; ces dispositions doivent être, en effet, combinées de telle sorte que la vapeur entraîne avec elle le moins d'eau possible, et que, en s'échappant, elle produise, derrière les pistons, la moindre résistance possible. Ces détails préoccupent toutes les

personnes qui se livrent à la construction des machines locomotives, c'est peut-être l'un des points sur lesquels il reste le plus à faire.

1° **DÔME DE PRISE DE VAPEUR.** — Indépendamment de la partie supérieure de la chaudière qui forme réservoir de vapeur, on dispose souvent une capacité additionnelle, dans laquelle est puisée la vapeur qui se rend aux cylindres ; elle n'a pas seulement pour objet d'augmenter la dimension du réservoir de vapeur, qui doit être dans un certain rapport avec la dépense faite à chaque coup de piston ; elle a pour but principal de relever à une certaine hauteur, au-dessus de la surface de l'eau, l'origine du tuyau de prise de vapeur. Le mouvement de translation de la machine agite l'eau ; l'ébullition très-active et très-tumultueuse, dans un espace aussi restreint qu'une chaudière de locomotive, projette des gouttelettes d'eau qui peuvent être entraînées, par le courant de vapeur, vers l'issue qui lui donne passage pour aller aux cylindres ; les matières grasses, les dépôts vaseux qui se trouvent dans la chaudière tendent à rendre l'eau mousseuse et facilitent encore son entraînement, et lorsque cet entraînement mécanique a lieu dans une proportion un peu considérable, l'eau s'échappe sous forme de pluie par la cheminée ; on dit alors que la machine *crache* ou *prime*.

On doit s'attacher à rendre l'entraînement de l'eau liquide aussi faible que possible, car l'eau dépensée inutilement a toujours occasionné une certaine dépense pour être approvisionnée dans les réservoirs ; elle a besoin d'être renouvelée fréquemment, ce qui occasionne des pertes de temps pendant le trajet ; elle ne s'échappe qu'après avoir absorbé une quantité notable de la chaleur développée dans le foyer ; elle augmente la densité de la vapeur et, par suite, les frottements dans les conduites, et empêche de profiter, dans les cylindres, de toute la pression qui correspond à la tension de la vapeur produite dans la chaudière ; elle crée, par le même motif, des résistances très-considérables derrière le piston, par le frottement développé à son passage dans les lu-

mières et dans le tuyau d'échappement; elle se vaporise en partie pendant la période d'échappement, au moment où la pression diminue, et elle refroidit les cylindres; enfin, elle entraîne, en s'échappant par la cheminée, des gouttes de boue qui couvrent la machine et les voitures, ce qui nécessite des nettoyages fréquents et, par suite, un surcroît de frais. L'eau introduite dans les cylindres y joue un rôle essentiellement nuisible; on verra, lorsque nous rapporterons les résultats constatés par l'expérience, jusqu'à quel point elle augmente la pression derrière le piston; pour se réduire en vapeur, lorsque la tension diminue pendant la période d'échappement, elle absorbe une quantité considérable de chaleur latente qu'elle emprunte à la masse même des cylindres, et qui n'est restituée à ceux-ci que par la condensation d'une quantité équivalente de vapeur arrivant de la chaudière; l'entraînement de l'eau, indépendamment de ses effets mécaniques, a donc encore pour résultat de faire perdre une partie de la vapeur produite dans la chaudière, qui se condense à son entrée dans les cylindres. Il ne suffit donc pas que la machine ne prime pas, car il peut y avoir encore une grande quantité d'eau entraînée par la vapeur, sans que ce signe se manifeste: il faut que la vapeur soit aussi sèche que possible.

Le *dôme de prise de vapeur* est construit, avons-nous dit, pour prévenir l'entraînement de l'eau. L'une des formes les plus simples, si elle n'avait pas souvent pour résultat de nuire à la bonne répartition du poids de la machine, et si elle ne présentait pas un grave inconvénient par sa position même, serait celle que Stephenson a introduite le premier et appliquée longtemps à toutes ses machines; elle a été très-fréquemment employée jusqu'en 1850, *fig. 1, pl. 5*. Une autre disposition, également simple, consiste à placer, sur le cylindre qui recouvre le foyer, ou sur le corps cylindrique lui-même, un réservoir cylindrique, surmonté d'une calotte hémisphérique, ou d'un segment de surface sphérique; quelquefois même, en donnant au métal une épaisseur suffisante, on emploie, comme fermeture, un fond presque plat (voir *fig. 1, pl. 6*). La hauteur du dôme cylindrique est d'environ 1 mètre au-dessus de sa base.

Quelques constructeurs ont mis deux dômes, l'un au-dessus du foyer, l'autre sur le milieu ou vers l'avant du corps cylindrique; d'autres enfin ont supprimé toute espèce de dôme, en ayant recours à un tuyau de prise de vapeur de forme spéciale que nous décrirons plus loin.

La position du dôme de prise de vapeur, c'est-à-dire du point vers lequel doit affluer la vapeur produite dans toute l'étendue de la chaudière, est d'une grande importance. Si l'on prend la vapeur au-dessus du foyer, l'orifice du tuyau de conduite se trouve dans une partie où l'ébullition est nécessairement très-tumultueuse, et les chances d'entraînement de l'eau sont augmentées; en outre toute la vapeur formée dans la partie cylindrique vient affluer vers le foyer, et rejette, dans l'intervalle compris entre les deux boîtes à feu, les dépôts vaseux et les incrustations qui se détachent spontanément de la surface des tubes; enfin, l'aspiration produite par le tuyau de prise de vapeur et dont les effets sont surtout sensibles dans le voisinage immédiat de son embouchure, détermine une tuméfaction de la masse d'eau au-dessus du foyer, de telle sorte que, dès que le régulateur est fermé, le niveau de l'eau s'abaisse dans le tube indicateur, et que, si le mécanicien n'a pas suffisamment alimenté, le foyer, qui était couvert d'eau, peut se trouver découvert et recevoir un coup de feu. Au contraire, lorsque le dôme de prise de vapeur est sur le corps cylindrique, au milieu ou vers l'avant, il correspond à un point où l'ébullition est très-faible, peut-être nulle, et où les chances de projection d'eau sont moindres; le bouillonnement de l'eau rejette sans cesse les dépôts vers l'avant, là où les parois ne sont plus fortement échauffées; enfin, le mécanicien est moins exposé à voir le foyer se découvrir au moment de l'arrêt, s'il a eu soin de le tenir couvert pendant la marche, car la tuméfaction qui se produit au droit du dôme tend à déterminer une dépression équivalente dans les régions du foyer, dépression qui disparaît dès que le régulateur est fermé.

— Les considérations qui précèdent établissent, d'une manière incontestable, qu'il y a tout avantage à mettre le dôme de prise de vapeur sur le corps cylindrique, entre le milieu et l'extrémité d'a-

vant, plutôt que de le placer au-dessus du foyer, comme l'ont fait systématiquement beaucoup de constructeurs ; elles doivent rendre circonspect dans l'application du dôme à base carrée de Stephenson.

Si les tubes et l'eau occupent une grande partie de la capacité de la chaudière, et s'il ne reste qu'un espace d'une petite hauteur, pour livrer passage au courant de vapeur qui se précipite vers l'orifice d'écoulement, cette circonstance peut devenir une nouvelle cause d'entraînement de l'eau ; il conviendrait peut-être mieux, dans ce cas, de placer le dôme de prise de vapeur sur le foyer que sur le corps cylindrique ; mais ce qui vaudrait mieux encore, serait de disposer deux dômes séparés, l'un au-dessus du foyer, l'autre vers le milieu ou l'avant du cylindre, afin d'éviter l'établissement d'un courant très-rapide dans un espace très-restreint ; le tuyau de prise de vapeur porterait, dans ce dernier cas, deux branches, correspondant chacune à l'un des dômes de prise de vapeur. Cette dernière disposition, que l'on trouve dans quelques anciennes machines, trouverait une application utile sur un grand nombre de machines actuellement en service sur différents chemins de fer.

Lorsqu'on donne au dôme la forme d'un cylindre, placé sur la boîte à feu extérieure ou sur la partie cylindrique, on le sépare en deux parties par un joint boulonné, et il sert de trou d'homme.

2° TUYAU DE PRISE DE VAPEUR ET RÉGULATEUR. — Dans les anciennes machines le tuyau de prise de vapeur se compose d'une partie horizontale en cuivre, que l'on fait entrer par un trou ménagé dans la plaque tubulaire de la boîte à fumée, lorsqu'il est trop long pour être introduit par le trou d'homme ; il s'assemble sur cette plaque au moyen d'une bride et de boulons ; la portion qui se relève pour monter à la partie supérieure du dôme de prise de vapeur est également en cuivre rouge lorsqu'elle ne porte pas le *régulateur* ; dans le cas contraire, elle est en fonte ou en laiton. Dans ce dernier cas, la partie supérieure du tuyau de prise de vapeur doit être solidement attachée dans le dôme. Lorsque le dôme est au-dessus du foyer, le tuyau de prise de vapeur a une

grande longueur et il devient sensible aux effets de la dilatation ; le joint qui réunit ces deux parties doit être exécuté avec le plus grand soin : on le fait au moyen de brides en fer et de boulons, ou au moyen d'un emmanchement conique représenté *fig. 5, pl. 11*. La difficulté de ce joint résulte de la nécessité de l'exécuter dans l'intérieur même de la chaudière, sans autre moyen d'accès que le trou d'homme. Lorsque le régulateur est placé près de la boîte à fumée, le tuyau de prise de vapeur est tout entier en fonte.

Le tuyau de prise de vapeur, à son entrée dans la boîte à fumée, se bifurque pour se rendre aux deux cylindres ; la bifurcation s'opère dans une culotte en fonte qui est fortement boulonnée sur la plaque tubulaire ; les tuyaux de conduite sont en cuivre rouge et viennent s'assembler par joints à bride sur les tubulures que portent, à cet effet, les boîtes de tiroirs des cylindres. Lorsque les deux cylindres ont leurs tiroirs verticaux et une boîte de tiroirs commune, on peut se contenter de placer un seul tuyau dans la boîte à fumée, la culotte de bifurcation se réduisant à un simple coude (*pl. 65, fig. 3*). Les tuyaux de prise de vapeur, placés dans la boîte à fumée, se courbent pour suivre le contour de ses parois, afin de ne pas masquer les tubes (*pl. 54, fig. 2 ; pl. 57, fig. 2*). Tous les joints de la conduite de vapeur doivent être exécutés avec le plus grand soin, car c'est souvent par là que manquent les machines en service.

La section intérieure des tuyaux de prise de vapeur varie de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{12}$ de celle de chaque cylindre ; celle des tuyaux de bifurcation doit être égale à la moitié, au moins, de la précédente.

Le tuyau intérieur, lorsqu'il porte le régulateur à son origine, doit être d'une épaisseur suffisante pour résister à la pression qu'il supporte extérieurement, toutes les fois que la machine est au repos ; la partie horizontale en cuivre rouge a de 0^m 003 à 0^m 005 d'épaisseur ; les tuyaux de la boîte à fumée, bien que ne résistant qu'à la pression intérieure, ont généralement les mêmes dimensions.

Le tuyau de prise de vapeur de la machine Crampton, adopté aujourd'hui dans un grand nombre de machines, a une forme particulière (*fig. 1 à 4, pl. 12 ; pl. 67*) : il occupe toute la

longueur de la chaudière ou, mieux, de la partie cylindrique seulement, et se raccorde dans un point voisin de l'extrémité d'avant avec une boîte en fonte placée à l'extérieur, et qui comprend le régulateur; il est percé, à sa partie supérieure, d'une fente longitudinale qui règne sur toute sa longueur, et, par suite, il puise la vapeur dans toute l'étendue de la chaudière; le dôme de prise de vapeur est supprimé. Si la largeur de la fente en chaque point était calculée en rapport avec la distance au régulateur et avec la résistance que le frottement oppose à l'écoulement de la vapeur, et, en outre, en rapport avec l'importance de la vaporisation en chaque point, la masse d'eau ne tendrait pas à se tuméfier et le niveau d'eau ne présenterait pas de variation sensible lorsque la machine passerait de l'état de mouvement à l'état de repos. Mais la plus grande quantité de vapeur étant formée au contact des parois du foyer, on serait conduit à donner à cet endroit une ouverture considérable à la fente du tuyau, et il s'établirait vers cette fente un écoulement très-rapide de vapeur qui entraînerait nécessairement beaucoup d'eau; il vaut mieux, dans la pratique, arranger les choses pour qu'elles se passent à peu près comme s'il y avait un dôme de prise de vapeur vers l'avant de la chaudière, et pour cela, ne pas prolonger le tuyau au-dessus du foyer. Quoi qu'il en soit, l'expérience démontre que lorsque la chambre de vapeur n'a pas une dimension suffisante, lorsque le tuyau de prise de vapeur n'est pas assez élevé au-dessus du niveau de l'eau, il y a un entraînement d'eau considérable; il en est de même lorsque l'eau est sale et lorsque a machine est, par suite, prédisposée à primer. On peut admettre, en effet, qu'il existe dans la chaudière entre l'eau et la vapeur un mélange de vapeur et d'eau incessamment projetée par l'ébullition; toutes les fois que la prise de vapeur sera plongée dans cette zone intermédiaire, elle donnera passage à une très-grande quantité d'eau liquide. Cette disposition n'est donc pas un palliatif souverain, comme l'ont cru quelques personnes, contre l'inconvénient de l'entraînement de l'eau; si elle est avantageuse dans les machines qui ont un grand réservoir de vapeur, elle peut être, au contraire, nuisible dans d'autres machines.

Il faut accepter comme une nécessité l'entraînement de l'eau par la vapeur, dans une chaudière de machine locomotive, appareil très-puissant quant à l'activité de la vaporisation, mais très-restreint quant aux dimensions, et dans lequel l'agitation de la masse d'eau est encore augmentée par le mouvement de translation de la machine, et par les secousses de toute nature qui en sont la conséquence; l'entraînement de l'eau, qu'il se révèle ou non par une pluie à l'extérieur, a toujours lieu plus ou moins. Lorsque l'on construit une machine, on doit s'appliquer à ménager au-dessus de l'eau un espace d'une capacité et surtout d'une hauteur assez grandes, pour prévenir les conséquences d'une ébullition rapide, la projection des gouttelettes d'eau vers le régulateur, et l'entraînement de celles qui sont momentanément en suspension dans l'intérieur de la chaudière. — Mais, lorsqu'une chaudière est construite ou que des conditions particulières de construction forcent à réduire les dimensions que demande le réservoir de vapeur, le but qu'on devrait se proposer serait de produire à l'entrée du tuyau de prise de vapeur ou sur un point intermédiaire de sa longueur, une séparation mécanique de l'eau et de la vapeur mélangées; de renvoyer l'une dans la chaudière et de conduire l'autre vers les cylindres.

On a proposé et essayé de dessécher la vapeur par l'action de la chaleur, en la surchauffant dans le trajet qu'elle effectue pour aller aux cylindres; cette méthode est susceptible de réussir dans les machines fixes, où l'ébullition est moins tumultueuse, où l'entraînement de l'eau est en quelque sorte normal et ne varie pas dans des limites considérables sous l'influence des causes accidentelles; où le niveau de l'eau peut être maintenu au point convenable avec une grande régularité, où le graissage des pistons se fait d'une manière très-complète; mais on ne devra y recourir, dans les machines locomotives, qu'avec une grande circonspection, et à défaut d'autre moyen efficace.

La séparation mécanique de l'eau et de la vapeur peut être basée sur la différence de densité de ces deux fluides; si l'on imprime à leur mélange une grande vitesse et qu'on lui fasse subir

un changement brusque de direction, la vapeur, dont la densité est très-faible, s'infléchira immédiatement pour suivre la direction la plus courte vers l'orifice d'écoulement, tandis que les gouttelettes d'eau, en vertu de la vitesse acquise, continueront à suivre leur direction initiale et se trouveront soustraites à l'action du courant qui les entraîne. Il serait facile, dans chaque cas particulier, de réaliser l'application de ce principe, que nous nous contentons d'énoncer.

Le régulateur sert à ouvrir et fermer le passage de la vapeur de la chaudière aux cylindres; il se compose d'un tiroir glissant sur une table dans laquelle sont percées des lumières qui forment l'orifice du tuyau de prise de vapeur. Ce tiroir affecte quelquefois, dans les anciennes machines, la forme d'un *disque* à plusieurs ailes, qui prend un mouvement de rotation, pour ouvrir et découvrir les orifices percés sur un plateau circulaire (*fig. 1 et 2, pl. 11*). Lorsque le régulateur est fermé par un tiroir, celui-ci se trouve placé ou verticalement (*fig. 3 et 4, pl. 11*) ou horizontalement, et quelquefois, sur un plan oblique à l'horizon. Le disque à ailes, qui prend le nom de *papillon*, ou le tiroir vertical, doit être soutenu par un ressort qui le maintient, lorsque la machine est sans pression. Ce ressort est encore destiné à permettre à l'air et à la vapeur, refoulés par la marche à contre-vapeur, de rentrer dans la chaudière; pour cela, on doit laisser au tiroir un jeu de 0=003 à 0=004 dans ses guides; c'est l'existence de ce jeu qui rend surtout nécessaire l'interposition du ressort.

Le régulateur est placé sur l'orifice même de la conduite, ou intercalé dans une partie de son parcours. Dans le premier cas, il est commandé par une tige de fer dont l'extrémité s'appuie sur une crapaudine venue de fonte avec le tuyau de prise de vapeur, et qui sort à l'arrière de la chaudière, à travers un presse-étoupes; une manette fixée sur cette tige sert au mécanicien pour la faire tourner, et, dans son mouvement de rotation, elle entraîne une manivelle qui commande une bielle dont l'extrémité s'attache au tiroir et le fait marcher (*fig. 3 et 4, pl. 11*). Si le régulateur est formé par un papillon ou par un tiroir horizontal, la tige com-

mande un parallélogramme qui transmet directement le mouvement de rotation (*fig. 1 et 2, pl. 11*), ou qui imprime un mouvement de va-et-vient au tiroir (*fig. 3 et 4, pl. 11*), par l'intermédiaire d'un levier, d'une came ou d'un secteur denté.

Lorsque le régulateur est intercalé dans la conduite, la tige passe dans un second presse-étoupes pour pénétrer dans la boîte qui le renferme; le mouvement de va-et-vient du tiroir est alors produit par une manette extérieure agissant comme un levier. Ces dispositions peuvent, du reste, varier à l'infini; les premiers régulateurs étaient de simples robinets; on a employé des soupapes, des vanes, etc.; la disposition qui a prédominé est celle du tiroir, dont la forme est du reste elle-même très-variable.

La prise de vapeur de la machine Crampton aujourd'hui, avons-nous dit, très-employée dans d'autres machines, se compose (*fig. 1 à 5, pl. 12, et fig. 4, pl. 65*) d'une boîte en fonte placée sur le corps cylindrique, fermée à sa partie supérieure par un couvercle plat, présentant à la partie inférieure une sorte de tubulure dans laquelle vient passer le tuyau de prise de vapeur qui se prolonge, de part et d'autre, sur toute la longueur de la chaudière; les tuyaux, qui conduisent la vapeur aux cylindres juxta-posés à la chaudière, viennent s'embrancher sur les côtés de cette boîte dans laquelle ils débouchent chacun par des lumières de forme pentagonale; un tiroir, soit simple, soit double, commandé par une tige unique, couvre et démasque à la fois ces lumières; la forme de celles-ci permet de ne donner à la vapeur qu'une issue extrêmement étroite au départ du tiroir, avantage qui n'est pas obtenu avec les lumières ordinaires à orifices rectangulaires. La tige du régulateur sort de la boîte et vient sous la main du mécanicien, qui la manœuvre le plus ordinairement à l'aide d'un levier; il est bon de la prolonger de manière à la faire sortir de la boîte vers l'avant de la machine, par un second presse-étoupe, qui lui sert de guide; on évite d'avoir sur le tiroir une pression non équilibrée qui suffit pour le faire marcher.

Dans tous les cas, l'ensemble des dispositions de la machine doit être combiné de telle sorte que la visite du régulateur soit

toujours facile, car il exige de fréquentes réparations, et il importe que sa fermeture soit toujours très-exacte, et, par conséquent, que les surfaces de contact restent parfaitement planes et polies. Quelques constructeurs ont placé le régulateur dans la boîte à fumée; cette disposition, à côté de certains avantages, a des inconvénients marqués: elle augmente le volume de la culotte de distribution; les joints sont altérés par l'action du feu; le montage et le démontage en sont difficiles; le tiroir grippe sur sa table, etc. Si l'on cherchait à reproduire cette disposition, on devrait la combiner avec la modification de la boîte à fumée que nous avons indiquée page 114. La boîte du régulateur serait soustraite à l'action du feu et serait d'une réparation plus facile.

Les constructeurs s'appliquent, en général, à donner aux lumières du régulateur une section supérieure à celle du tuyau de prise de vapeur qui a lui-même une section égale à 1/10 de l'aire de chaque piston; cette condition n'est pas indispensable lorsque le régulateur est placé à l'origine du tuyau, car, excepté dans la marche à forte détente, les conducteurs de machines n'ouvrent jamais le régulateur au delà de la quantité strictement nécessaire pour donner une libre issue à la vapeur, afin d'éviter l'entraînement de l'eau, qui a lieu d'autant plus facilement que les affaiblissements de pression qui résultent de l'émission rapide de la vapeur dans les cylindres sont plus fréquents et plus instantanés.

La masse d'eau éprouve une tuméfaction d'autant moins forte que l'écoulement de la vapeur produite est plus régulier. Enfin pour ce genre de régulateur, on comprend que la résistance au mouvement que la vapeur éprouve dans un orifice percé en quelque sorte en mince paroi, soit très-faible à côté de celle que détermine le frottement dans un tuyau d'une assez grande longueur. Les mêmes motifs n'existent plus pour un régulateur intercalé dans la conduite; il faut lui donner une large section pour atténuer, autant que possible, l'effet des changements brusques de direction et des remous qu'il occasionne.

La boîte du régulateur et la table qui le supporte sont en fonte,

d'une seule pièce; le tiroir, ou la pièce qui en tient lieu, est en fonte ou, mieux, en bronze, ce dernier métal étant moins disposé à gripper.

3^o TUYAUX D'ÉCHAPPEMENT. — La vapeur sortant de chaque cylindre, après avoir traversé la lumière d'échappement, passe par une tubulure sur laquelle vient s'attacher le tuyau d'échappement, par un joint à bride. Les deux tuyaux d'échappement viennent se réunir en un seul, qui se rétrécit à son orifice pour former la tuyère. La réunion a lieu près de l'orifice de sortie, dans la cheminée ou près des cylindres. Dans le premier cas, chaque tuyau rampe isolément le long des parois de la boîte à fumée, et la jonction s'opère dans une culotte en fonte qui est attachée par des boulons à la culotte des tuyaux de distribution; dans le second cas, la culotte en fonte est fixée sur les deux tubulures des cylindres et reçoit le tuyau d'échappement, qui est commun. Chaque disposition a ses avantages et ses inconvénients: la première (fig. 3, pl. 9; fig. 2, pl. 54; fig. 2, pl. 57) isole plus complètement les deux jets de vapeur et empêche mieux la vapeur d'un cylindre de réagir sur le piston de l'autre cylindre, mais elle obstrue l'orifice de la cheminée; la seconde (fig. 3, pl. 65; fig. 3, pl. 68) présente l'inconvénient et l'avantage inverses de la première disposition; mais de plus elle masque un certain nombre de tubes et empêche de les tamponner lorsqu'ils crèvent. L'expérience n'a pas encore fixé les constructeurs sur le mérite comparatif des deux systèmes, ce qui semble indiquer que les motifs de préférence se balancent sensiblement.

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, on rend variable la section de l'orifice d'échappement. La disposition la plus simple consiste (pl. 12, fig. 6 et 7) à terminer la tuyère ou partie supérieure du tuyau d'échappement par un ajutage rectangulaire, formé de deux faces planes et parallèles, entre lesquelles on fait mouvoir deux valves légèrement cintrées, qui, en se rapprochant ou en s'écartant, font varier la section de l'orifice, sans que l'axe du jet de vapeur cesse de coïncider avec celui de la cheminée. Chaque valve est montée

à sa partie inférieure sur un axe en fer, soutenu par deux oreilles venues à la fonte sur les faces latérales et fixes. Les deux axes sont reliés entre eux par des leviers ou des secteurs dentés qui leur impriment un mouvement symétrique de part et d'autre de l'axe de la tuyère. Ce mouvement est transmis par une tringle dont l'extrémité est à la main du mécanicien, et qui est guidée par des supports sur le flanc du corps cylindrique où elle sert de main courante. Il convient, pour dégager la base de la cheminée et pour rendre le jeu du mécanisme plus facile, de prolonger les axes des valves mobiles à l'extérieur de la boîte à fumée, et de placer en dehors les leviers ou les secteurs dentés qui les font mouvoir (pl. 61, 66, 70, 74 et suiv.). Il faut, dans tous les cas, que l'assemblage des valves sur le tuyau d'échappement soit fait avec le plus grand soin et avec des emmanchements solides, car des fuites sur les côtés et par les joints peuvent nuire d'une manière très-notable au tirage, en contrariant l'effet du jet de vapeur.

La tringle qui transmet le mouvement reçoit un mouvement de va-et-vient, soit au moyen d'une manivelle qui sert à la tirer et à la repousser, soit au moyen d'un petit volant qui la fait tourner et d'un écrou fixe qui agit sur une partie filetée de la tringle elle-même. Cette dernière disposition est la meilleure, car elle permet de faire varier par degrés insensibles, et de régler au point convenable l'orifice d'échappement.

L'échappement doit être aussi direct que possible, et se faire par une conduite d'égale section dans toute son étendue, sans étranglement. Cette double condition doit être prise en grande considération lorsque l'on trace le plan des cylindres. Le tuyau doit pénétrer de quelques centimètres seulement dans la cheminée, dont il convient d'évaser la base, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, pour que le passage des gaz chauds ne soit pas trop étranglé. On ne saurait du reste indiquer de règle précise à ce sujet, les constructeurs adoptant des dispositions qui varient à l'infini. C'est cependant un des points les plus importants de la construction des machines locomotives, une petite différence de forme, quelques centimètres de plus ou de moins dans les di-

mensions des pièces pouvant exercer une influence très-marquée sur le tirage:

Lorsque le tuyau d'échappement est unique et placé dans l'axe de la boîte à fumée, on est forcé de lui donner une forme elliptique dans toute la partie qui correspond aux tubes, afin de faciliter le nettoyage de ceux-ci (fig. 6 et 7, pl. 12; pl. 64, 67, etc.). La section du tuyau d'échappement est habituellement, pour chaque cylindre, égale à celle du tuyau de prise de vapeur, c'est-à-dire à environ $1/10$ de l'aire du piston; quelquefois elle lui est supérieure de $1/5^e$; si le tuyau est commun, cette section doit être doublée. Ces dimensions doivent, du reste, varier avec les dispositions générales de la machine et avec la nature du combustible; si celui-ci est de très-bonne qualité, et si le volume des cylindres est faible relativement à la surface de chauffe, il n'est pas nécessaire de disposer l'échappement de manière à produire un tirage artificiel très-énergique; il faut laisser une très-large section aux tuyaux qui donnent issue à la vapeur et à l'orifice de la tuyère, qui peut atteindre le diamètre de 0^m12 à 0^m15 . Il n'y a même dans ce cas, qu'un médiocre intérêt à rendre l'échappement variable; car c'est moins la section de l'orifice supérieur que celle des lumières du cylindre et de la partie de la conduite adhérente au cylindre qui influe sur la pression résistante, derrière le piston. Dans le cas contraire, il faut compenser par l'énergie du tirage l'insuffisance de la surface de chauffe, et faire passer de force, pour ainsi dire, l'air à travers le combustible, dont les cendres et le mâchefer rendent la masse moins perméable. Il faut éviter de donner un trop grand volume aux conduites, parce que la vapeur, en sortant du cylindre, s'y détendrait et ne conserverait plus une vitesse suffisante en arrivant à la cheminée. Par le même motif, il faut rétrécir l'orifice de la tuyère, et lui donner seulement 0^m07 à 0^m8 de diamètre, si sa section n'est pas variable. C'est dans ce cas surtout que l'échappement variable peut rendre de grands services. Ce qui précède explique pourquoi les Anglais n'ont pas habituellement fait usage de l'échappement variable; qui a été, au contraire, adopté d'une manière générale en France.

L'emploi du tuyau d'échappement variable exige une certaine habileté de la part des mécaniciens, qui ne doivent serrer l'orifice qu'autant qu'il est nécessaire de le faire pour maintenir la tension de la vapeur au point convenable; ils doivent prévoir les causes qui tendent à la faire baisser et les prévenir par une augmentation modérée du tirage, sans attendre qu'elle soit tombée tout à fait pour réduire à sa dernière limite la section de la tuyère. Un tirage trop actif entraîne de petits fragments de coke qui bouchent les tubes et des cendres à moitié fondues qui s'attachent aux viroles et obstruent l'orifice des tubes. *C'est dans un cas extrême seulement que l'on doit serrer complètement les valves mobiles et imprimer au tirage toute l'énergie possible.*

§ 5. — Alimentation.

1° POMPES ALIMENTAIRES. — Il existe deux systèmes distincts de pompes alimentaires : les unes sont à grande course et commandées directement par les tiges de piston ; les autres sont à petite course et commandées par des excentriques, soit spéciaux, soit communs à la distribution.—Nous décrirons le premier en détail, et nous indiquerons ensuite quelles sont les dispositions spéciales qui caractérisent le second.

Le *corps de pompe* est en bronze ou en fonte; il est fixé au châssis à l'intérieur ou à l'extérieur, suivant la position des cylindres; son axe est parallèle à celui du cylindre. La pompe est à simple effet, et le piston est formé par un *plongeur*, tige cylindrique de 0^m 04 à 0^m 07 de diamètre, fixée sur la coquille ou tête de la tige du piston (fig. 8 et 9, pl. 12; fig. 1, pl. 13; fig. 1 à 4, pl. 14, et fig. 2, 9, 10 et 11, pl. 21). L'emmanchement du plongeur avec la coquille a lieu au moyen d'un *petit levier* calé sur l'extrémité du boulon qui réunit la bielle motrice à la tige du piston, ou venu de forge sur ce boulon, ou bien encore appliqué directement sur le prolongement même de ce boulon. Le plongeur est en fer, en acier ou en bronze.

Le corps de pompe est pourvu d'un *presse-étoupes* dans lequel

se meut le plongeur, et qui lui sert de guide; son diamètre excède de 0^m 003 à 0^m 004 seulement celui du plongeur, car il importe de ne pas laisser séjourner dans la pompe une trop grande quantité d'eau, qui peut devenir, pendant les gelées, une cause de rupture.

La *chapelle* de la *soupape d'aspiration* est fondue avec le corps de pompe, ou rapportée au moyen d'un assemblage à bride et à boulons (fig. 1, 2 et 3, pl. 13); elle est placée à son extrémité, au-dessous ou sur le côté; elle doit, autant que possible, être disposée pour que la soupape puisse être visitée et réparée sans qu'il soit pour cela nécessaire de démonter autre chose qu'un bouchon à vis ou un couvercle maintenu par une vis de pression et un étrier. La soupape est à *clapet* ou à *boulet*. La première se compose d'un disque en bronze (fig. 1 et 2, pl. 13; fig. 1, 2, 5 et 6, pl. 14), présentant une partie conique qui repose sur le *siège*, et qui forme la fermeture au repos; elle porte quatre *aillettes*, glissant à frottement doux dans une partie cylindrique qui termine la conduite d'aspiration et qui est percée dans le bloc de métal formant le siège de la soupape. La soupape porte donc avec elle-même son guide. Le *siège* est en bronze; il fait corps avec la chapelle lorsque celle-ci est elle-même en bronze; il est rapporté lorsqu'elle est en fonte et qu'elle dépend du corps de pompe.

La soupape à boulet (fig. 4 et 5, pl. 13; fig. 3 et 4, pl. 14) se compose d'une sphère en bronze, creuse à l'intérieur ou pleine, suivant sa dimension, qui repose, comme la précédente, sur un siège en bronze, tourné au contact suivant une zone de surface sphérique. Le boulet est prisonnier dans une espèce de cloche à jour, qui lui sert de guide et limite sa course. Cette cloche est vissée sur le siège de la soupape ou attachée au couvercle qui forme la chapelle. Les clapets, dans le premier système, ont également leur course limitée par un arrêt fixé au couvercle.

Sous la soupape d'aspiration on place souvent le petit réservoir à air représenté en coupe (fig. 8, pl. 12), qui facilite beaucoup le jeu de la pompe, en diminuant l'obstacle que l'inertie apporte à l'aspiration et au soulèvement du clapet d'aspiration. Cette disposi-

tion permet en outre, par le même motif et par la facilité qu'on donne à l'air de se dégager sans entrer dans le tuyau d'aspiration au moment de la mise en train, d'amorcer plus facilement la pompe.

La *soupape de refoulement* est construite exactement comme celle d'aspiration, mais, généralement, la boîte ou chapelle qui la renferme est rapportée; elle est placée comme elle à l'extrémité, mais en contre-haut du corps de pompe. On mettait habituellement deux soupapes de refoulement, l'une au-dessus de l'autre, pour remédier au dérangement fréquent que ces pièces peuvent éprouver; on plaçait, en outre, très-près de la chaudière, pour retenir l'eau qu'elle renferme, en cas de rupture ou de réparation de la pompe, une troisième soupape ou un robinet; souvent, aujourd'hui, on se contente de reporter la deuxième soupape de refoulement très-près de la chaudière (*fig. 1, pl. 15*); cette simplification ne paraît pas offrir d'inconvénient lorsque les pompes sont bien exécutées et bien entretenues, et surtout lorsque l'eau n'est pas de mauvaise qualité.

Le *tuyau d'épreuve* prend son origine entre les deux soupapes de refoulement; il est très-court, et le robinet qui sert à le manœuvrer porte une longue tringle dont la poignée est à la portée du mécanicien, ou bien il est très-long et vient se terminer au garde-corps, de telle sorte que le robinet lui-même soit sous la main du mécanicien. Le premier cas est aujourd'hui généralement préféré. Dans le second, il est nécessaire que le tuyau soit très-solide et fortement assujéti dans toutes ses parties, car les chocs que l'eau lui imprime le dégradent facilement, et, en outre, il est exposé à geler pendant l'hiver. Le tuyau d'épreuve est, en même temps, un tuyau d'amorce et de purge, lorsque l'air s'est introduit entre les clapets, ou que le clapet supérieur ferme mal et laisse arriver la vapeur de la chaudière entre les deux clapets. Il est donc nécessaire, comme nous l'avons déjà dit, que l'espace compris entre les deux clapets soit le moindre possible, afin que le tuyau d'épreuve puisse purger facilement la capacité sur laquelle il est placé; dans tous les cas, il doit être placé très-près de la soupape supérieure. La course des plongeurs varie, comme celle des pistons, de 0^m 46

à 0^m 70. La levée des clapets ou des boulets ne doit guère excéder 0^m 02; elle est même réduite à 0^m 012 dans les pompes des chemins de fer du Nord et d'Orléans, car le retard à la fermeture au moment de l'aspiration est l'une des causes principales qui réduisent l'effet utile des pompes. Il faut, en même temps que l'on restreint la levée, dégager, autant que possible, l'issue qui reste ouverte à l'eau, pour que la contraction qu'éprouve la veine fluide développe le moins possible de résistance à son mouvement et nuise le moins possible au rendement. Le nombre des joints doit être réduit autant que le permettent les nécessités de la construction et de la visite prompte et facile des clapets; leur confection doit être l'objet des plus grands soins, car les chocs multipliés que tout le système éprouve occasionnent de fréquentes dégradations.

Les pompes à petite course, mues par excentrique, ne peuvent être employées que lorsqu'il existe au delà de l'essieu qui porte les excentriques une assez grande distance pour les placer; elles ne diffèrent essentiellement des précédentes que par les dimensions du plongeur et le mode adopté pour lui imprimer son mouvement de va-et-vient. Le plongeur est en fonte; il est guidé par un long presse-étoupes (*fig. 4 et 5, pl. 13; fig. 5 et 6, pl. 14*). Il est creux et pourvu d'un double fond dans lequel passe un boulon dont la tête est disposée en forme de fourche pour recevoir la *bielle motrice*. Celle-ci est attachée à l'excentrique de la marche en arrière, qui travaille et fatigue moins que l'excentrique de la marche en avant. La course est égale au double du rayon d'excentricité, et varie de 0^m 110 à 0^m 140; son diamètre est habituellement de 0^m 10. La bielle qui commande le plongeur doit avoir au moins 0^m 50 de longueur. Quelquefois, à défaut d'un espace suffisant, on a placé ces pompes en avant de l'essieu moteur, mais cette disposition est exceptionnelle.

Dans les premières machines Crampton, les cylindres se trouvant à une grande distance en arrière des roues d'avant, on avait placé les pompes en avant des cylindres, et le plongeur étant formé par le prolongement même de la tige du piston. On a renoncé à cette disposition. Dans les machines de gare du chemin d'Orléans les pompes sont fixées sur le côté des cylindres.

Les pompes sont toujours au nombre de deux, une pour chaque cylindre; cela est nécessaire pour parer aux accidents assez fréquents qu'éprouvent ces appareils et qui en suspendent le jeu. Chaque pompe séparément doit être suffisante pour fournir à elle seule toute l'eau nécessaire; son produit doit même être de beaucoup supérieur à la dépense qui a lieu dans le même temps, de telle sorte qu'il ne soit nécessaire de la faire fonctionner que par intermittence, et pendant au plus un tiers du temps d'activité de la machine.

Le produit théorique de la pompe pendant un temps donné est la somme des volumes engendrés par le plongeur à chacune de ses oscillations; lorsque le plan d'une machine est arrêté, et le volume des cylindres connu, si l'on veut proportionner la dimension des pompes à la dépense de vapeur à effectuer lorsque celle-ci atteint son maximum, on calculera le poids de vapeur correspondant à quatre cylindrées entières, en augmentant de 30 p. 0/0 le nombre déterminé au moyen des données de la table de la page 40, afin de tenir compte de l'eau entraînée; la pompe ne donnant qu'environ 60 p. 0/0 d'effet utile et ne devant fonctionner que pendant un tiers du temps d'activité de la machine, on multipliera par 1,5 et par 3, ou par 4,5, le poids calculé comme on l'a indiqué ci-dessus, en ayant soin de l'exprimer en kilogrammes. Ce nombre représentera en litres le volume que doit engendrer le plongeur, dont la course est donnée et dont le diamètre restera seul à calculer.

2° TUYAUX D'ASPIRATION ET DE REFOULEMENT. — Les pompes puisent leur eau dans le tender au moyen d'un tuyau en cuivre rouge de 0^m 04 à 0^m 05 de diamètre, et de 0^m 0025 à 0^m 004 d'épaisseur, qui aboutit au tender, où son orifice peut être fermé à volonté par une soupape, comme nous l'indiquerons plus tard. Chaque pompe a un tuyau distinct. Les besoins du service obligeant à séparer fréquemment le tender de la machine, il est nécessaire d'établir un raccordement d'une forme commode, pour réunir la partie du tuyau d'aspiration qui est fixée à la machine et

celle qui est fixée au tender. Pendant longtemps on s'est servi d'un *tuyau en toile* à tissu très-serré, qui était attaché sur le bout du tuyau dépendant du tender, et portait à l'autre extrémité l'écrou d'un *raccord à vis*. Ce raccord s'emmanchait sur l'extrémité filetée de la portion du tuyau attachée à la machine. Cette disposition est simple et économique de construction, mais elle fait perdre un certain temps pour monter et démonter les raccords, et facilite les rentrées d'air. Les tuyaux en toile sont coupés un peu plus longs que l'intervalle qu'ils doivent remplir, pour que les déplacements relatifs du tender et de la machine, résultant du mouvement de lacet ou du passage dans les courbes, puissent se produire librement et sans les tendre complètement. Un des inconvénients de ce système est la prompte usure des tuyaux qui se percent au bout de peu de temps.

Sur le chemin de fer de Saint-Germain, on a placé dans le tuyau de toile un tuyau en caoutchouc vulcanisé, qui rendait les fuites d'eau moins fréquentes, qui empêchait les rentrées d'air lorsque la pompe fonctionnait à vide, qui prévenait l'aplatissement du tuyau de toile, et, par suite, l'usure résultant de la déformation indéfiniment répétée qu'il éprouve. Sur plusieurs lignes on emploie maintenant un tuyau en caoutchouc vulcanisé, épais et entouré d'un ressort à boudin (*fig. 4, pl. 15*).

Quelques constructeurs ont réuni en un seul, sous la plate-forme du mécanicien, les deux tuyaux d'aspiration, de telle sorte qu'il n'y ait qu'un seul raccord à démonter pour séparer le tender de la machine; on a aussi remplacé le tuyau en toile par un *tuyau à rotule* (*fig. 2 et 3, pl. 15*) composé de deux parties glissant l'une dans l'autre, la partie mâle étant exactement tournée à la surface, la partie femelle portant sur un presse-étoupes qui forme joint; ces deux pièces sont, en outre, réunies à chacune des parties fixes du tuyau d'aspiration, par un joint à rotule, de telle sorte que la pièce entière puisse se prêter à tous les mouvements relatifs du tender et de la machine. Chacun des tuyaux d'aspiration porte à son origine un robinet dont la tige vient traverser la plate-forme et se terminer par une manette que le

mécanicien manœuvre avec la main ou même avec le pied pour régler l'alimentation.

Le plus souvent on place de chaque côté du tender et pour chaque pompe un tuyau à rotules; ces tuyaux sont construits sur le même principe, mais la partie femelle porte un entonnoir ou pavillon d'environ 0^m 20 d'ouverture, qui permet d'y engager la partie mâle, sans recourir à aucune espèce de main-d'œuvre. Les deux parties du tuyau à rotule sont soutenues par des chainettes qui les maintiennent à peu près à la hauteur qu'elles doivent occuper habituellement, et lorsque la machine, mise en mouvement par le mécanicien, vient s'appuyer sur le tender, la partie mâle, guidée par le pavillon, vient prendre spontanément sa place (fig. 2 et 3, pl. 15). Il convient, lorsque la longueur de la plate-forme le permet, de fixer le pavillon et la partie femelle sur la machine, pour que la poussière de la route ne vienne pas s'y loger en trop grande quantité. Les rotules sont en bronze ou en laiton.

Dans quelques cas on a substitué aux tuyaux à rotule ou aux tuyaux de toile des tuyaux en cuivre rouge, d'une faible épaisseur, et de 0^m 03 à 0^m 04 de diamètre, enroulés en cercle, de manière à former un tour de spire entier entre les deux raccords qui sont sur le prolongement l'un de l'autre. Ce tuyau a toute la flexibilité nécessaire pour obéir à tous les déplacements relatifs du tender et de la machine, et tient parfaitement l'eau et la vapeur.

On embranche sur chaque tuyau d'aspiration (fig. 2 et 4, pl. 15) un *tuyau réchauffeur* qui sert à envoyer dans la caisse à eau, pendant le stationnement, l'excédant de la vapeur produite dans la chaudière, et qu'on utilise pour réchauffer l'eau. Chaque tuyau réchauffeur est fermé par un robinet, près du point où il se branche sur l'enveloppe du foyer; il doit puiser la vapeur à une assez grande hauteur au-dessus du niveau de l'eau. Celle-ci pourrait être entraînée en grande quantité, si la prise de vapeur avait lieu trop près de sa surface. La meilleure forme de *robinet réchauffeur* est celle qu'indique la fig. 4, pl. 16; elle se compose d'une soupape montée sur une tige à vis. Cette disposition doit être appliquée,

autant que possible, à tous les robinets qui livrent passage à de la vapeur ou à de l'eau chaude; lorsqu'on leur donne la forme ordinaire, le corps du robinet se dilate et ne peut plus tourner que difficilement dans son boisseau; souvent même les surfaces grippent, et une réparation devient nécessaire.

Le *tuyau de refoulement* est en cuivre rouge, de 0^m 0025 à 0^m 004 d'épaisseur, et de même diamètre que le tuyau d'aspiration; il se soude à un bout du tuyau en bronze qui s'applique, par l'intermédiaire d'une bride et de boulons, sur le corps de la chaudière, et porte la soupape ou le robinet de retenue (fig. 6, pl. 14; fig. 1, pl. 15). Le joint de la chaudière doit être fait au *minimum* et exécuté avec le plus grand soin. Lorsqu'on fait usage d'un robinet de retenue, il arrive quelquefois que le mécanicien, oubliant de le rouvrir avant d'alimenter, brise les tuyaux et détruit les joints. Il convient de le disposer de telle sorte que la clef mobile qui sert à le manœuvrer ne puisse être enlevée que lorsqu'il est ouvert; la vue de cette clef frappe le mécanicien et prévient tout oubli de sa part.

Les constructeurs n'ont pas toujours été d'accord sur le point où il convenait d'injecter l'eau froide dans la chaudière: quelques-uns ont placé l'introduction sur la boîte à feu extérieure; mais ce système a l'inconvénient de produire des contractions nuisibles à la conservation du foyer; en outre, si l'eau est chargée de matières calcaires, les dépôts peuvent se former en plus grande abondance entre les deux enveloppes du foyer. La position la plus convenable est à l'avant de la partie cylindrique, ou, lorsque la position des pompes le nécessite, dans un point intermédiaire entre le milieu et l'avant, mais toujours le plus loin possible du foyer.

3^o EAU D'ALIMENTATION. — On doit s'appliquer à alimenter avec de l'eau chaude; dans ce but, on établit souvent des appareils pour maintenir constamment chaude l'eau des réservoirs, dans lesquels les machines en service prennent leur approvisionnement; on profite également de la vapeur qui se produit en excès dans les machines en stationnement, et on la renvoie dans le

tender au moyen du *tuyau réchauffeur*. Le chauffage de l'eau, pour lequel on utilise de la vapeur sans emploi et des combustibles de rebut, n'est pas seulement une source d'économie, en raison de la chaleur que l'eau apporte avec elle et qu'elle n'emprunte pas au foyer, c'est surtout un moyen d'assurer la bonne marche de la machine; en effet, lorsqu'on injecte un grande quantité d'eau froide dans la chaudière, surtout lorsque l'alimentation coïncide avec le rechargement du foyer, la tension de la vapeur s'abaisse dans des limites considérables, et un mécanicien peu habile peut se trouver, par ce fait seul, mis hors d'état de continuer sa route; lorsque l'eau est chauffée à 50° ou 60° seulement, cet effet devient beaucoup moins sensible. Théoriquement, il conviendrait de chauffer l'eau jusqu'à près de 100°; mais il est nécessaire, en réalité, de se maintenir à la limite de 60° à 70°, car l'eau trop chaude se réduit en vapeur dans le corps de pompe et cesse d'être aspirée et refoulée dans la chaudière; il faut, lorsque l'eau est très-chaude, avoir soin de laisser la soupape placée dans le tender, à l'origine du tuyau d'aspiration, complètement ouverte, car un étranglement qui opposerait une résistance un peu considérable au mouvement de l'eau contribuerait à empêcher la pompe de fonctionner. L'addition, sous le clapet d'aspiration, du réservoir représenté (*fig. 8, pl. 12*), par cela même qu'elle facilite l'aspiration paraît susceptible de favoriser l'alimentation avec de l'eau très-chaude.

Le choix des eaux qui servent à l'alimentation est d'une importance capitale; de leur bonne ou mauvaise qualité dépend la conservation ou la destruction rapide du foyer intérieur et des tubes. L'eau de source est presque toujours chargée de sels calcaires, de sulfate de chaux et souvent de carbonate de chaux; le dernier de ces sels est maintenu en dissolution par un excès d'acide carbonique qui se dégage de l'eau dès que celle-ci est chauffée; le premier est soluble par lui-même, à froid, mais en assez faible quantité seulement; sa solubilité diminue avec la température et il est complètement insoluble à la température à laquelle fonctionnent actuellement les machines locomotives; il se dépose par le fait

seul de l'échauffement de l'eau qui le tient en dissolution; il s'en redissout, lorsque le feu est jeté, une certaine quantité, qui se précipite de nouveau lorsqu'on remet la machine en feu; mais la plus grande partie correspondant à l'eau dépensée reste à l'état de dépôt. Le sulfate de chaux et le carbonate de chaux qui se déposent dans la chaudière se partagent en deux parties, l'une qui reste à l'état vaseux en suspension dans l'eau et se rassemble, lorsque la machine est au repos, dans les parties inférieures de la chaudière, mais sans y adhérer, l'autre qui éprouve une sorte de cristallisation confuse et s'attache aux parois du foyer et des tubes avec une adhérence telle qu'on ne peut détacher les croûtes ainsi formées qu'au moyen d'un burin. Lorsque les eaux sont très-chargées de sels calcaires, les incrustations peuvent atteindre en assez peu de temps des épaisseurs qui excèdent 0^m 001 sur les tubes et 0^m 01 sur les parois de la boîte à feu. L'intervalle entre les tubes peut même se remplir, si on n'y prend pas grand soin.

Les parois métalliques ainsi enduites de matières sédimentaires qui conduisent très-mal la chaleur, se suréchauffent, et en se dilatant et se contractant de quantités très-considérables, perdent leur solidité, en même temps que l'oxydation diminue leur épaisseur; les viroles des tubes se disjoignent, et de nombreuses fuites se déclarent dans le foyer; enfin la chaleur développée par la combustion se transmet plus difficilement à la masse liquide. La mauvaise qualité de l'eau d'alimentation est donc à la fois une cause de mauvais service, d'insécurité, de réparations fréquentes et coûteuses, et de surcroît dans la consommation du combustible.

· S'il était possible d'évaluer en argent les dépenses de toute nature résultant de l'emploi d'une mauvaise eau d'alimentation, on resterait convaincu, de la manière la plus évidente, de la nécessité d'entreprendre les travaux en apparence les plus dispendieux pour fournir aux réservoirs des eaux pures; ce ne serait peut-être pas aller au delà de la réalité que d'estimer à 0 fr. 10, par kilomètre parcouru, le surcroît total des dépenses qu'occasionne l'usage d'une eau impure; pour 20,000 kilomètres de parcours annuel,

ce serait un surcroît de dépenses de 2,000 fr. par an et par machine.

Lorsque les eaux déposent des sels calcaires, il faut nettoyer très-fréquemment la chaudière pour enlever les dépôts vaseux qui s'y forment en grande abondance, enlever les pellicules calcaires qui se détachent spontanément des tubes par l'effet des dilatations et contractions qu'ils éprouvent; ces dépôts peuvent se durcir et devenir solides en formant de nouvelles incrustations; en outre, ils salissent l'eau et font primer la machine. Il faut, de temps en temps, enlever quelques tubes des rangées inférieures, pour nettoyer à fond la partie cylindrique, détacher, avec un ciseau et un marteau, les incrustations qui recouvrent le ciel du foyer, enlever tout ce que peut atteindre un ouvrier en pénétrant dans l'intérieur de la chaudière par le trou d'homme, et tout ce qu'il est possible d'atteindre avec des tringles de fer passées par les trous de vidange. Malgré toutes ces précautions, il reste encore, principalement sur les parois verticales du foyer, des croûtes calcaires qu'on ne peut enlever mécaniquement qu'en remplaçant un très-grand nombre d'entretoises.

On a cherché à combattre l'effet des incrustations par des procédés chimiques; quelques substances, comme l'amidon (pommes de terre), les infusions de bois de teinture, le tannin, etc., ont pour objet de rendre les incrustations moins adhérentes et de faciliter les nettoyages; elles sont peu efficaces et font primer les machines; d'autres, comme la soude, le sel ammoniac, la chaux, le carbonate de soude, ont pour objet de détruire les incrustations déjà formées et de nettoyer les chaudières; leurs résultats sont de même assez incertains. Beaucoup de recettes, que leurs inventeurs entourent de mystère et pour lesquelles il a été pris plusieurs brevets, sont journellement proposées aux ingénieurs qui entretiennent le matériel des chemins de fer; elles ont toutes pour but, avec plus ou moins de succès, d'attaquer les éléments qui entrent dans la composition des incrustations, de les désagréger et de les faire tomber à l'état de boue qui sort avec les dépôts vaseux, lorsqu'on lave la machine. Les matières employées

sont les réactifs les plus communs de la chimie, ou des substances préparées à peu de frais; les principales sont celles que nous avons déjà citées.

L'emploi de ces procédés a l'inconvénient de faire cracher les machines et de faire fuir les joints que les dépôts cristallins ont pu ouvrir et qu'ils ont tenus momentanément fermés; mais cet inconvénient ne peut pas être mis en balance avec la conservation des chaudières et l'économie du combustible; on doit les employer, soit d'une manière continue pour détruire la cause des incrustations, soit d'une manière discontinue et à des intervalles plus ou moins éloignés pour enlever les incrustations formées. Il faut, toutefois, avoir égard aux propriétés acides de quelques-unes de ces matières, notamment à celles du sel ammoniac qui attaque le fer comme le ferait un acide; peut-être même pourrait-on lui substituer de l'acide hydrochlorique faible, qui, employé à petite dose et avec précaution, de manière à ne pas dépasser le point où le carbonate de chaux se décompose, serait d'un usage sûr et peu coûteux pour les dépôts chargés d'une quantité un peu notable de carbonate. Le mieux est, comme on commence à le faire, de purifier les eaux du réservoir même, avant de remplir le tender.

Nous ne cherchons pas ici à traiter à fond la question des incrustations; nous insistons seulement sur la nécessité d'y apporter la plus grande attention. L'importance de la question est assez grande pour que l'on organise, sur un chemin de fer dont les eaux sont de mauvaise qualité, un service d'essais chimiques, comme on le fait dans une foule d'industries; il conviendrait, à des intervalles plus ou moins rapprochés, tous les mois, tous les quinze jours, par exemple, de doser la proportion de matières sédimentaires en dissolution dans les eaux qui alimentent les différents réservoirs de la ligne, et d'ajouter dans les réservoirs la dose correspondante de matières neutralisantes. En imitant les procédés employés pour l'essai des matières d'argent par voie humide et pour les essais alcalimétriques, on arriverait à rendre ces essais périodiques, simples et peu dispendieux; les frais de matières premières pour la neutralisation sont, du reste, sans impor-

tance, à côté des avantages de toute nature qui résulteraient de la purification des eaux d'alimentation.

4^e ALIMENTATION DANS LES GARES. — Lorsque les machines restent longtemps en stationnement dans les gares, ou lorsque leurs chaudières présentent des fuites, il est nécessaire de les alimenter. On peut le faire, en les faisant courir sur des voies spéciales, ou même sur les voies de service, mais ce n'est jamais sans quelques inconvénients; le parcours ainsi effectué par la machine produit une usure proportionnelle; en outre, cette manœuvre, exécutée souvent par des agents moins habiles que les mécaniciens ordinaires, expose à des collisions ou à des déraillements. On a disposé, dans les gares principales, des *galets d'alimentation*, formés d'une paire de roues montées sur un essieu et placées au-dessous de la voie, de telle sorte que leur partie supérieure vienne affleurer avec la face supérieure des rails sur une longueur d'environ 0^m 15 à 0^m 20. On amène la machine qui a besoin de renouveler son eau sur ces galets, et on la cale dans une position telle que ses roues motrices reposent uniquement sur les roues intercalées dans la voie; en donnant très-peu de vapeur sur les pistons, les roues tournent sur place et les pompes fonctionnent.

Ce moyen ne s'est pas généralisé, car il ne peut être appliqué qu'aux machines dont les roues sont indépendantes. Pour les machines à roues accouplées, il convient, lorsque l'alimentation dans les gares est trop difficile, ou si l'on veut éviter de déplacer inutilement les machines, de disposer sur chacune d'elles une petite machine à vapeur spéciale dite *petit cheval*, accolée à la chaudière et qui fait marcher une pompe. Cet appareil (*fig. 1, 2, 3, pl. 16*) occupe très-peu de place. Le tuyau d'aspiration et celui de refoulement doivent venir s'embrancher sur les tuyaux correspondants de la pompe de la locomotive afin d'éviter le percement de tout nouveau trou dans la chaudière.

Maintenant, d'ailleurs, on peut avec du soin et de la surveillance éviter cette installation, car un mécanicien attentif, lorsque la machine est en bon état, peut rester en stationnement une journée entière sans alimenter.

CHAPITRE III.

Mécanisme ou Appareil moteur.

Nous avons montré, dans l'introduction, la machine locomotive amenée par le concours du chemin de fer de Liverpool à Manchester à son état définitif, quant aux principes généraux sur lesquels reposait sa construction; nous avons indiqué plus tard quelles modifications avaient dû subir successivement les dimensions du générateur de vapeur, pour satisfaire aux conditions de puissance et de vitesse qui devenaient chaque jour plus nécessaires. Le mécanisme a suivi le même progrès; en même temps qu'on augmentait la surface de chauffe et la capacité des chaudières, on augmentait successivement le diamètre et la course des cylindres. Les cylindres de la *Fusée* avaient 0^m 21 centimètres de diamètre et 0^m 41 de course; les machines que l'on construit actuellement ont généralement des cylindres de 0^m 38 de diamètre, quelquefois de 0^m 40 et même de 0^m 45; la course varie de 0^m 46 à 0^m 70; elle est ordinairement de 0^m 56 pour les machines à voyageurs, et va jusqu'à 0^m 70 pour les machines à marchandises.

À part des améliorations de détail dans la construction des pièces, on ne trouve, dans les vingt dernières années, qu'un perfectionnement essentiel dans les dispositions de l'appareil moteur: nous voulons parler de la détente qui a permis de réaliser d'importantes économies de vapeur et de combustible, et qui a, par suite, déterminé une nouvelle augmentation de puissance et de vitesse. Ce perfectionnement est dû en partie aux travaux des ingénieurs français.

Les premières machines n'avaient qu'un seul excentrique pour chaque cylindre; cet excentrique était mobile sur l'essieu et pou-

vait être embrayé alternativement avec deux tocs fixés sur l'essieu dans deux positions diamétralement opposées; au moyen d'un appareil de débrayage dont le levier était à la portée du mécanicien, celui-ci pouvait changer le sens de la marche. Cette disposition présentait peu de solidité, et quelques constructeurs y avaient renoncé pour n'employer qu'un excentrique fixe dont la barre, terminée par un double V ou double pied de biche (*fig. 4 à 6, pl. 32*), s'embranchait soit directement sur la tige du tiroir, soit sur l'extrémité inférieure d'un levier attaché par son extrémité supérieure à la tige du tiroir; un levier de changement de marche, agissant sur la barre d'excentrique, renversait la marche du tiroir. La première disposition permettait de donner au tiroir une certaine avance pour faciliter l'introduction et le dégagement de la vapeur; la seconde ne permettait de donner de l'avance pour la marche en avant qu'à la condition de donner du retard pour la marche en arrière.

Le constructeur anglais Hawthorn est le premier qui ait eu l'idée d'employer quatre excentriques, deux pour chaque cylindre, l'un commandant la marche en avant, l'autre la marche en arrière; la distribution pouvait être convenablement réglée dans chaque sens.

L'application de l'avance, qui avait été empruntée aux machines de bateaux à vapeur, conduisait naturellement à la détente fixe. En 1840, MM. Flachet et Petit, dans l'ouvrage qui a servi de point de départ à notre travail, insistaient fortement sur les avantages de la détente fixe qui n'avait encore été appliquée que partiellement et dans des limites peu étendues; par de nombreux calculs ils établissaient l'avantage qu'il y a à donner 25° d'avance angulaire à l'excentrique, et au tiroir un recouvrement correspondant; dans ces conditions la détente fixe avait lieu sur environ 1/6^e de la course du piston. M. Clapeyron appliquait à la même époque ce principe sur une plus large échelle et poussait la détente fixe jusqu'au tiers de la course, en augmentant proportionnellement la capacité des cylindres; les résultats obtenus sur les chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles démontrèrent dès cette époque toute l'utilité de cette innovation.

En 1840 on essayait également, sur le chemin de fer de Saint-Germain, un système de détente variable à deux tiroirs superposés, dont l'un était mené par les excentriques; l'autre, maintenu à sa surface supérieure par la pression de la vapeur et entraîné par le frottement, venait rencontrer une double came qu'il frappait plus tôt ou plus tard, suivant la position de l'axe sur lequel elle était montée; le second tiroir, s'arrêtant au contact de cette came et fermant alternativement les lumières percées dans l'épaisseur du premier tiroir, interceptait l'introduction de la vapeur à une distance plus ou moins grande de l'extrémité de la course. — Cette détente avait l'inconvénient de ne pouvoir fonctionner qu'à la condition de ne laisser entrer la vapeur dans le cylindre que pendant une fraction de la course inférieure à la moitié, de telle sorte que le but était dépassé par l'exagération du résultat obtenu; en outre, les tocs ne pouvaient pas résister dans les grandes vitesses, et de plus, l'inertie du tiroir supérieur ne pouvait pas être surmontée par les frottements, et il y avait, par suite, des perturbations de toute nature. Cet essai ne donna pas lieu à une application suivie.

En 1841, M. Cabry, ingénieur anglais, attaché au service des chemins de fer belges, imagina de faire varier la détente en faisant varier la course du tiroir au moyen d'une disposition spéciale du pied de biche qui termine la barre d'excentrique; cette détente, qui a été appliquée dans un très-grand nombre de circonstances, a été remplacée par celle de Stephenson.

En 1842, M. Meyer prit un brevet pour une détente très-complète et très-perfectionnée au point de vue théorique; il en fit l'application à des machines locomotives qui donnèrent des résultats favorables sous le rapport de la consommation. D'autres dispositions également avantageuses furent plus tard proposées et appliquées par divers constructeurs, parmi lesquels nous citerons spécialement M. Gonzenbach. Ces dispositions n'ont pas reçu une application générale, et dans beaucoup de cas on a démonté les appareils de détente employés; à l'inconvénient d'une augmentation très-notable dans les frottements, s'ajoute celui d'une assez grande sujétion pour l'entretien et la réparation. — Sur presque tous les chemins

de fer on donne la préférence à la détente variable, à un seul tiroir de Stephenson, qui a succédé à celle de Cabry, en s'appropriant aux dispositions nouvelles que Stephenson lui-même introduisait dans la construction des machines par une transmission directe du mouvement aux tiroirs.

La première application de cette détente variable remonte à l'année 1843; nous la décrirons seule avec quelque détail. — Pour les détentes variables à plusieurs tiroirs, nous renverrons aux publications dans lesquelles elles ont été décrites et figurées avec tous les détails que comporte le sujet.

§ 1er. — Cylindres et pistons.

1° CYLINDRES. — Un cylindre se compose essentiellement d'une capacité cylindrique dans laquelle se meut le piston; il est exactement alésé sur une longueur un peu supérieure à la course du piston, augmentée de son épaisseur; il est fermé vers l'arrière par un fond fixe ou mobile, à travers lequel passe la tige du piston; vers l'avant par un couvercle ou plateau, mobile à volonté pour faire entrer et sortir le piston lorsqu'on le répare. Les lumières d'introduction viennent aboutir aux deux extrémités du cylindre, où leur prolongement est souvent marqué sur le fond et sur le couvercle et sur les deux faces du piston; on doit, en effet, laisser le moins de jeu possible, entre le piston et les fonds du cylindre, le moins possible d'espace nuisible aux extrémités de la course. La boîte de tiroir et son couvercle dépendent du cylindre ainsi que la lumière et l'origine du tuyau d'échappement qui viennent de fonte dans la masse.

La forme extérieure des cylindres varie à l'infini, car elle dépend de leur position à l'intérieur ou à l'extérieur du châssis, de la forme même de ce châssis qui leur sert de support, de leurs propres dimensions qui peuvent amener, pour les grands cylindres, des modifications qui ne seraient pas nécessaires pour des cylindres plus petits. Les planches 17 à 20 représentent un certain nombre de dispositions de cylindres.

Pl. 17, fig. 1 et 2. Ancienne machine de Sharp et Roberts, cylindres intérieurs horizontaux, tiroirs en dessus;

Fig. 3 et 4. Machine du chemin de Rouen, cylindres extérieurs inclinés, et tiroirs en dessus horizontaux;

Fig. 5 et 6. Machine du chemin de fer du Nord, cylindres extérieurs horizontaux et tiroirs verticaux, sur le côté;

Fig. 7 et 8. Machine du chemin de fer de Paris à Lyon (voyageurs), à cylindres extérieurs horizontaux et à tiroirs verticaux, sur le côté;

Pl. 18, fig. 1 et 2. Machine Engerth, cylindres extérieurs horizontaux à tiroirs en dessus, inclinés;

Fig. 3 et 4. Machine le Rhône, cylindres intérieurs, inclinés de 1/11°, à tiroirs en dessous;

Fig. 5 et 6. Machine du chemin d'Orléans, cylindres intérieurs horizontaux à enveloppe de fonte, tiroirs verticaux, sur le côté extérieur;

Pl. 19, fig. 1 et 2. Machine du Bourbonnais, cylindres horizontaux extérieurs, tiroirs verticaux intérieurs, attache par un cadre transversal très-complet;

Pl. 20, fig. 1 et 2. Machine Crampton, cylindres extérieurs horizontaux, pris des deux côtés entre le longeron double du bâtis; tiroir en dessus, oblique.

Les cylindres sont généralement placés au delà du corps cylindrique de la chaudière, dans la boîte à fumée, au-dessous ou à côté de cette capacité; cependant on trouve dans l'un des modèles de Stephenson, et plus tard dans les machines du système Crampton, les cylindres placés de part et d'autre du corps cylindrique, entre les roues d'avant et les roues du milieu qui deviennent alors de simples roues portantes.

Les conditions que l'on doit s'attacher à remplir lorsque l'on combine le plan d'une machine, consistent, pour ce qui concerne les cylindres, à constituer solidement leur attache sur le châssis et sur la boîte à fumée; à disposer la boîte de tiroir de manière à rendre la visite et les réparations faciles; à rendre l'échappement aussi direct que possible pour diminuer les effets de la contre-pres-

sion; à réduire autant que possible l'espace nuisible à chaque extrémité de la course; enfin, à donner aux lumières d'introduction, pour faciliter l'admission et surtout le dégagement de la vapeur, une section aussi grande que le comportent les autres exigences de la construction.

L'inclinaison des cylindres donne souvent une grande facilité pour le service, mais poussée au delà de certaines limites, au delà de 20° à 25°, par exemple, elle peut présenter des inconvénients assez marqués, ainsi que nous le verrons plus loin.

Le fond du cylindre, lorsqu'il est mobile, ainsi que le couvercle, doivent être parfaitement dressés; ils sont boulonnés sur des brides venues à la fonte sur le cylindre; quelquefois les boulons ont la tête noyée dans le corps même du cylindre, dont la tranche est exactement planée et forme joint avec le rebord du couvercle. Les brides sur lesquelles sont boulonnés les couvercles ont de 0^m 03 à 0^m 04 d'épaisseur sur 0^m 06 de largeur; on les dresse exactement afin que la juxtaposition soit aussi parfaite que possible. Les parois du cylindre ont de 0^m 025 à 0^m 030 d'épaisseur, et sont quelquefois renforcées par des nervures annulaires de 0^m 01 de saillie. — Il convient de donner aux cylindres neufs une sur-épaisseur afin de pouvoir les aléser deux ou trois fois sans craindre de compromettre leur solidité; on donne immédiatement à l'entrée et au couvercle qui y pénètre, le diamètre maximum que les alésages successifs peuvent atteindre. — Les plateaux doivent être aussi minces que possible pour que, dans le cas de rupture ou de dérangement du piston, ils puissent casser mais préserver le cylindre lui-même d'une rupture qui occasionnerait des réparations dispendieuses.

La boîte du tiroir, quelles que soient sa forme et sa disposition, doit avoir une capacité assez grande pour que le tiroir ne fasse pas obturateur et ne gêne pas le passage de la vapeur. La surface, qui comprend les orifices des lumières et sur laquelle glisse le tiroir, ou en d'autres termes la *table du cylindre* ou le *siège du tiroir*, doit être exactement dressée et rodée. Les parois n'ont guère que de 0^m 015 à 0^m 022 d'épaisseur; une bride et des boulons fixent le couvercle qui est renforcé par des nervures.

Les lumières ou conduites de vapeur, à l'introduction, ont une section à peu près égale à celle du tuyau de prise de vapeur, c'est à-dire à 1/10^e environ de l'aire des pistons; celle de la lumière d'échappement est à peu près égale à la somme des deux autres. Le développement des lumières d'introduction dépend de la distance de l'axe du piston à la table du tiroir, distance qui varie avec la disposition générale du mécanisme; il importe de la réduire autant que possible pour diminuer la résistance du frottement qui fait perdre à la vapeur, en contact avec le piston, une partie de sa tension, et qui, surtout, augmente la contre-pression pendant l'échappement. — En outre, la capacité des lumières constitue un *espace nuisible* qui se remplit de vapeur à chaque coup de piston, sans profit pour le travail de la machine.

Les couvercles entrent, à frottement doux, et sur une longueur d'environ 0^m 03 à 0^m 04, dans les cylindres. Le fond ou couvercle d'arrière, lorsqu'il est mobile, porte les glissières; et, dans ce dernier cas, il doit être assujéti très-solidement; un des meilleurs emmanchements est celui qu'indiquent les *fig. 3 et 4, pl. 17, 5 et 6, pl. 18*, il porte un *stuffing-box* ou *boîte à étoupes*, composé généralement d'un anneau en bronze appelé *grain*, et d'un *chapeau* ou *presse-étoupes*, également en bronze, ou en fonte garni alors d'une bague en bronze, dans lesquels glisse, à frottement doux, la tige du piston; une *garniture* en chanvre enduit de suif est pressée entre le grain et le chapeau, et forme un joint imperméable à la vapeur, tout en permettant à la tige de glisser sans trop de résistance. — La hauteur de la garniture est de 0^m 08 à 0^m 10 et son épaisseur de 0^m 015 à 0^m 020. On a souvent essayé, mais sans suite, des garnitures métalliques. C'est généralement le corps de la boîte à étoupes venu à la fonte avec le *fond* du cylindre ou avec le cylindre lui-même, si le *fond* n'est pas mobile, que l'on prend pour point d'attache des glissières, ainsi qu'on le verra plus loin.

Les couvercles dont la surface est plane doivent avoir une épaisseur un peu plus grande que celle des cylindres; les boulons qui servent à les attacher sont au nombre de 8 à 10 et ont environ 0^m 025 de diamètre; les couvercles, et ceux des boîtes de tiroir,

ont souvent besoin d'être enlevés : on leur applique deux poignées que l'on visse sur deux trous taraudés, soit à demeure, soit au moment même de la manœuvre. Lorsqu'ils sont placés dans l'intérieur de la boîte à fumée, il convient, pour faciliter le démontage, d'employer des écrous en bronze surmontés d'une sorte de chapeau en forme de dé à coudre, qui préserve le pas de vis du boulon de toute altération par l'action du feu et de la rouille.

L'une des deux faces d'avant ou d'arrière de la boîte du tiroir est souvent fermée par un plateau fixé sur une bride, comme celui du cylindre, au moyen de boulons; cette ouverture facilite la mise en place et le démontage du tiroir; elle est indispensable, lorsque le cadre en fer qui embrasse le tiroir et qui le met en mouvement est venu de forge sur la tige; elle facilite, en outre, la réparation de la table du tiroir.

On doit comprendre, dans la description des cylindres, diverses pièces accessoires, les robinets purgeurs, les robinets graisseurs et les enveloppes.

Les robinets purgeurs servent à enlever l'eau de condensation qui s'accumule dans les cylindres pendant le stationnement, et l'eau entraînée pendant la marche. Les robinets purgeurs ne présentent rien de particulier comme disposition; ils sont en bronze, d'une section intérieure variant de 0^m 005 à 0^m 012. Ils sont implantés, au nombre de deux, sous chaque cylindre, aux points extrêmes correspondant à l'espace nuisible qui reste à la fin de la course entre le piston et le plateau du cylindre. Quelques constructeurs, qui avaient disposé leurs tiroirs sur le côté, dans une position verticale, ont appliqué un robinet purgeur à chaque boîte de tiroir, indépendamment de ceux du cylindre; d'autres, au contraire, ont pensé qu'il suffisait d'en placer sur les boîtes de tiroir. Il ne suffit pas de purger la capacité qui renferme les tiroirs, il faut aussi vider directement les cylindres; ce dernier exemple ne doit donc pas être imité.

Les robinets purgeurs sont commandés par un arbre commun, portant des manivelles et de petites bielles de transmission, qui agissent sur la manette de chaque robinet. Un levier spécial et une

tringle, dont l'extrémité est sous la main du mécanicien, servent à mettre en mouvement l'arbre de transmission et tous les robinets.

Les robinets graisseurs servent à graisser le piston et les tiroirs; ils sont placés sur les couvercles d'avant des cylindres, ou mieux à la partie supérieure et au milieu des cylindres, ou bien, lorsque les tiroirs sont placés au-dessus des cylindres, sur le couvercle de la boîte du tiroir; dans les deux premiers cas, les tiroirs sont graissés par l'huile que la vapeur entraîne après avoir lubrifié les parois du cylindre; dans le dernier cas, c'est l'inverse qui a lieu. Cette seconde méthode doit être préférée toutes les fois qu'elle est applicable; il vaut mieux encore avoir pour le tiroir et pour le cylindre des robinets indépendants.

Dans les anciennes machines, où la boîte du tiroir était placée dans la boîte à fumée, on perceait un trou taraudé et fermé par un bouchon à vis, par lequel on introduisait du suif fondu au moment du départ. Quelquefois, on plaçait un robinet graisseur sur le côté de la boîte à fumée, en le faisant communiquer par un petit tuyau avec la boîte du tiroir.

Les robinets sont à simple boisseau, ou à double boisseau à capacité intermédiaire (fig. 7, pl. 18); dans le premier cas, ils ne servent à graisser que pendant le stationnement; dans le second cas, ils peuvent servir à graisser pendant la marche.

Lorsque les cylindres ne sont pas renfermés dans la boîte à fumée, on les recouvre d'une enveloppe de bois ou de métal, ou bien d'une double enveloppe de bois et de métal; enfin, quelques constructeurs recouvrent les plateaux d'une plaque de feutre retenue par une plaque de tôle ou de laiton. Il importe de prévenir par tous les moyens possibles la condensation de la vapeur par le refroidissement du cylindre, et il y aurait tout avantage, lorsque le plan général de la construction le permet, à les enfermer dans la boîte à fumée, si la capacité de celle-ci ne devait pas en être augmentée d'une manière nuisible au tirage. M. Polonceau a employé avec succès, pour les cylindres extérieurs, la double enveloppe avec chemise de vapeur appliquée dans les machines fixes dont la construction est bien entendue (fig. 5 et 6, pl. 18).

Les métaux employés dans la construction des cylindres et de leurs parties accessoires sont : la fonte pour le cylindre proprement dit et ses fonds ou couvercles, le laiton ou le bronze pour les presse-étoupes et les robinets. La fonte destinée aux cylindres doit être à grain très-serré et un peu dure, parfaitement saine, exempte de toute soufflure, d'un grain fin, tenace et susceptible d'un très-beau poli, dans les parties en contact avec les pistons ou avec les tiroirs. Les tables de tiroirs doivent être très-dures; plusieurs constructeurs, et entre autres Stephenson, les ont coulées en coquille, ce qui a donné de très-bons résultats. La masselotte à la coulée doit avoir au moins 0^m 30 à 0^m 40 de hauteur.

Le montage des cylindres doit être fait avec le plus grand soin; de telle sorte que l'axe coïncide bien exactement avec l'intersection de deux plans, l'un passant par l'axe de l'essieu moteur, l'autre perpendiculaire à ce même axe; c'est là le point de départ du montage de tout le mécanisme. Leur durée est très-considérable; elle correspond à un parcours d'au moins 300,000 kilomètres.

2^o Pistons. — Le piston se compose d'une tige, de deux plateaux montés sur la tige et de segments métalliques intercalés entre les deux plateaux pour former le joint; nous parlerons de la coquille ou tête de la tige du piston en décrivant les glissières. Les segments sont appliqués à frottement doux contre les parois du cylindre, soit en vertu de leur propre élasticité, soit au moyen de coins pressés par des ressorts qui les écartent et les maintiennent constamment en contact avec le cylindre.

Les pistons doivent être aussi légers que possible, pour éviter la flexion de la tige sous l'action de leur poids, lorsqu'ils sont à bout de course, et pour diminuer l'importance du rôle que joue le poids même de cet organe dans la stabilité de la machine en mouvement.

Les anciens pistons étaient en fonte; ils sont maintenant généralement en fer, forgé par voie d'étampage entre deux matrices; on pourrait ainsi leur donner facilement toutes les formes que

la pratique avait adoptées pour les pistons de fonte dont il sera parlé ci-après.

La construction des segments exige un soin tout particulier, car il importe que la pression s'exerce uniformément sur toute leur circonférence, afin que le cylindre ne s'use pas d'une manière inégale; il faut en même temps, lorsque cette usure inégale a lieu malgré toutes les précautions prises, qu'ils aient assez de flexibilité pour épouser la forme nouvelle que prend le cylindre. Pour rendre enfin l'obturation plus complète, on dispose deux étages de segments à joints croisés, l'un interceptant le passage de la vapeur aux points où l'autre présente des solutions de continuité pour recevoir l'action des coins de serrage. Lorsque chaque segment est d'un seul morceau, son épaisseur est généralement inégale, et croît depuis la fente qui reçoit le coin jusqu'à l'extrémité opposée du diamètre correspondant (*fig. 5 et 11, pl. 20*).

Le piston doit être attaché avec le plus grand soin à la tige; le mouvement alternatif qu'il éprouve tend à détruire rapidement l'assemblage.

Il existe divers systèmes d'attache: tantôt l'un des plateaux porte un manchon ajusté sur un renflement conique qui termine la tige et y est fixé par une forte clavette ou un écrou (*fig. 4 et 8, pl. 20*); tantôt on fait venir de forge sur la tige un large renflement sur lequel s'appuie chacun des plateaux (*fig. 6 et 12, pl. 20*), ceux-ci étant, comme toujours, reliés entre eux par des boulons; cette disposition a l'avantage de rendre le piston mobile autour de sa tige, et permet de vérifier si le serrage est convenable, sans tout démonter; elle permet de plus de déplacer le piston de temps en temps pour combattre la tendance à l'ovalisation; mais elle a l'inconvénient de prendre facilement du jeu, et elle a été généralement abandonnée. Actuellement on façonne à l'extrémité de la tige un renflement fileté, très-légerement conique, sur lequel on visse le piston, après l'avoir chauffé à environ 300°, et en le serrant à l'aide d'un levier puissant (*fig. 4, pl. 19*). Enfin on a fait venir de forge la tige avec l'un des plateaux; mais ce système est abandonné.

Pour empêcher les plateaux de porter sur les cylindres à la partie inférieure, on place l'un des segments de telle sorte, que sa plus forte épaisseur (cette disposition suppose qu'il est d'un seul morceau) soit à la partie inférieure du cylindre, et on le prend pour point d'appui d'une vis qui soutient le plateau dans lequel est engagée la tige du piston; il vaut mieux encore centrer la tige, en plaçant les segments de telle sorte que leurs sommets soient à 45° de l'arête inférieure du cylindre, et en appliquant sur chacun une vis qui vient s'appuyer sur les portées du plateau.

Lorsque chaque segment est d'un seul morceau, il est pressé à l'intérieur par un ressort circulaire, qui s'applique sur toute sa circonférence; au point où est placé le coin, le ressort s'aplatit pour recevoir une vis de serrage; d'autres fois, une lame de ressort très-courte s'appuie sur deux ergots que porte le segment et sert de support à la vis de serrage, qui presse le coin, pour écarter le segment au fur et à mesure de son usure. On a enfin employé des segments faisant eux-mêmes ressort, et fermés à la fente par une petite lame d'acier ou de bronze ajustée à queue d'hironde; pour cela on fond un anneau en fonte très-douce, que l'on martèle à froid, de manière à écrouir sa face intérieure; on le fend, et il s'ouvre sur un diamètre un peu supérieur à celui du cylindre; entrés de force dans le cylindre, ces segments pressent les parois par leur propre élasticité, et s'ils sont construits avec soin, ils peuvent rendre d'utiles services; mais lorsqu'ils sont mal exécutés, ils remplissent imparfaitement le but; c'est ce qui a eu lieu, le plus souvent, lorsqu'on en a fait l'emploi, et c'est ce qui explique comment on a renoncé à leur usage.

Les écrous des boulons qui réunissent les plateaux doivent être arrêtés avec le plus grand soin; on se sert pour cela d'une feuille de tôle sur la circonférence de laquelle on taille des échancrures qui correspondent à la forme et à la position des écrous, et que l'on fixe au moyen de vis sur le plateau antérieur; les écrous sont emprisonnés par cette plaque, et ne peuvent pas se desserrer (fig. 7, pl. 20). On peut remplacer avec avantage les vis qui peuvent se desserrer par une petite goupille carrée, fixée sur le bout de la tige du piston.

On distingue souvent les deux plateaux du piston en *plateau* proprement dit et *covercle*; le premier porte, dans les anciens pistons, le manchon dans lequel s'emmanche la tige du piston (fig. 3 et 4, 7 et 8, pl. 20). Ce manchon porte lui-même quatre saillies, de toute la hauteur du vide intérieur du piston, qui sont percées de trous cylindriques et qui servent de guides aux boulons destinés à réunir les deux plateaux. Dans les pistons plus récents, les manchons qui servent de guide aux boulons sont isolés et consolidés seulement par des nervures rayonnantes ou circulaires; les deux plateaux, au fur et à mesure que la construction se perfectionne, tendent à devenir exactement semblables entre eux.

Les fig. des pl. 19 et 20 représentent différents types de pistons et reproduisent sous diverses formes les dispositions qui viennent d'être indiquées. Les fig. 7 et 8 représentent une disposition spéciale de piston, qui a été longtemps en faveur, mais à laquelle on renonce maintenant; une *cuvette* pressée par des ressorts à boudin forme un coin général qui presse sur les segments taillés intérieurement suivant la même surface conique; le vice de ce système consiste dans la difficulté d'imprimer une tension uniforme aux ressorts à boudin, et, par conséquent, d'exercer la même pression sur toute la circonférence de la garniture.

Deux nouveaux pistons sont devenus depuis quelques années d'un emploi assez général, savoir: le piston Vancamp et le piston Ramsbottom ou suédois.

Le premier n'a de particulier que ses segments. Ceux-ci forment un cercle entier, mais brisé en deux parties réunies par une articulation ou charnière. Ces segments s'ouvrent facilement sous la pression du coin de serrage, et s'appliquent exactement sans effort sur le pourtour du cylindre (fig. 5, pl. 19).

Le piston Ramsbottom est très-simple et très-léger; le corps du piston lui-même est d'une seule pièce faite à l'étampe, évidée sur le plat pour la légèreté, et garnie sur le pourtour de trois ou quatre rainures ayant environ 1 centimètre de section. Dans chacune d'elles on loge un cercle d'acier doux qui tend à se détendre de lui-même. Le piston suédois (fig. 4, pl. 19) diffère du premier par

les segments, qui sont en fonte, au nombre de deux et beaucoup plus larges. Ce système de piston était depuis longtemps employé, notamment par M. Cavé dans les marteaux-pilons à vapeur. Le creux que le piston offre au moins sur un des côtés est rempli ordinairement par un renflement correspondant des couvercles du cylindre.

On a construit, à l'origine, des segments formés de plusieurs morceaux, pressés par des ressorts à boudin qui prenaient leur point d'appui sur le renflement intérieur du plateau; pour rendre la fermeture plus complète, on a quelquefois employé pour chaque segment deux garnitures l'une dans l'autre, à joints croisés, les ressorts pressant les pièces intérieures; c'est même à cette disposition qu'il faut attribuer l'origine du mot *segment*, qui s'applique maintenant à un cercle entier.

On emploie le bronze, la fonte et plus rarement l'acier pour la construction des segments. On leur donne 0^m 03 de hauteur et près de la fente 0^m 015 à 0^m 020 d'épaisseur; cette épaisseur croît jusqu'à l'extrémité opposée du diamètre correspondant, suivant une progression que l'expérience et le tâtonnement indiquent pour chaque espèce de métal et pour les différents diamètres de cylindres. Les segments sont ajustés avec une grande précision, non-seulement sur leur surface extérieure, mais encore sur les deux tranches, car les fuites de vapeur pourraient s'établir tout aussi bien entre les plateaux et les segments qu'entre les segments et les parois du cylindre. Au point où le coin de serrage s'applique, les deux extrémités du segment présentent chacune un renflement qui sert d'appui au coin; l'angle de celui-ci est de 60° à 80°. Dans le piston Ramsbottom et suédois l'épaisseur des segments ne dépasse guère 8 à 12 millimètres; elle est constante et les segments font eux-mêmes ressort.

Lorsqu'un segment est composé de plusieurs pièces, il y a un coin de serrage à chacun des joints, et un ressort, soit à boudin, soit à lame, comme celui de la *fig. 5, pl. 20*, agit sur chaque coin. Il est difficile de régler les vis de serrage qui s'appuient sur ces ressorts de manière à obtenir une pression uniforme; c'est

en partie pour ce motif que l'on a généralement adopté les segments d'une seule pièce. Lorsqu'on fait usage d'un ressort circulaire, on peut l'employer de deux manières distinctes, soit uniquement pour presser sur le coin du serrage, en l'appuyant seulement par son sommet sur la paroi intérieure du segment, soit pour presser le coin de serrage et, en même temps, pour presser sur les différents points de la circonférence du segment (*fig. 3 et 4, 11 et 12, pl. 20*). La vis de serrage se relie au ressort, soit par un écrou taraudé dans un renflement que porte cette pièce (*fig. 3 et 4, 11 et 12, pl. 20*), soit au moyen de deux écrous entre lesquels se trouve prise la lame de ressort (*fig. 5, 6, pl. 20*); dans le premier cas, on place sur la vis un écrou de retenue. Pour empêcher la vis de se desserrer, on emprisonne quelquefois sa tête dans une petite boîte ou guide fixée sur le plateau du piston (*fig. 11 et 12, pl. 20*). Les ressorts circulaires ont de 0^m 002 à 0^m 0025 d'épaisseur.

Tout le monde n'est pas d'accord sur la préférence à donner au bronze ou à la fonte pour la construction des segments de pistons; l'acier grippe facilement et est cassant, son usage ne doit donc pas être recommandé dans les pistons ordinaires. Mais dans les pistons où le segment fait lui-même ressort, comme dans le système Ramsbottom, l'acier fondu doux peut être adopté avec avantage. Le frottement du bronze est plus doux et paraît mieux convenir pour les grandes vitesses, mais il a l'inconvénient de s'user moins également et surtout de s'user rapidement, ce qui oblige à donner fréquemment du serrage aux segments, lesquels ne sont jamais que pendant un temps assez court dans un état de serrage normal; par contre on est moins assujéti pour le serrage et moins exposé à canneler les cylindres qu'avec la fonte. Pour jeter quelque jour sur cette importante question, nous avons ouvert, en 1851, une sorte d'enquête en consultant les ingénieurs et les constructeurs des principales lignes de chemin de fer; il en est résulté que les pistons à segments en fonte de première qualité à grain très-serré, sans soufflures, donnaient d'excellents résultats et devaient être préférés lorsque les cylindres étaient eux-

mêmes en fonte dure et à grain très-serré; ils durent très-longtemps sans qu'on soit obligé de donner du serrage, ils donnent un très-beau poli aux cylindres; bien construits et bien entretenus, ils sont d'un usage très-avantageux. L'expérience n'a pas infirmé ces résultats.

Les tiges de piston doivent être parfaitement cylindriques dans toute leur étendue; leur diamètre varie de 0^m 06 à 0^m 08; on peut calculer cette dimension, au moyen des données expérimentales qui indiquent à quelle limite se rompt une barre de fer ou d'acier soumise à un effort de traction longitudinal. D'après M. Poncelet, la résistance du fer forgé, suivant la qualité et l'échantillon, varie de 6,000^{ks} à 2,500^{ks} par centimètre carré, et peut être prise en moyenne à 4,000^{ks}. Celle de l'acier trempé varie de 10,000^{ks} à 3,600^{ks} et peut être prise en moyenne à 7,500^{ks} par centimètre carré. Dans la pratique on admet en général qu'on ne doit pas porter la charge habituelle au delà de 1/6 ou 1/7 de la résistance indiquée ci-dessus, pour tenir compte des défauts de structure qui échappent à l'œil, des chocs et autres actions anormales que les tiges peuvent avoir à supporter. Nous adopterons, en conséquence, pour la résistance réduite qu'il convient d'appliquer dans la pratique pour le fer..... 550^{ks} pour l'acier..... 1,000^{ks}

Si l'on suppose un cylindre de 0^m 40 de diamètre recevant de la vapeur à la tension de 7^{at}, dont le piston supporte par conséquent une pression de 6^{at} ou 6^{ks} par centimètre carré, ou en totalité de 7,791^{ks}, il sera nécessaire de donner à la tige du piston, si elle est en fer, une section de $\frac{7,791}{550} = 14^{\text{cs}}, 16$, et si

elle est en acier de $\frac{7,791}{1,000} = 7^{\text{cs}}, 79$.

Les diamètres correspondants seraient pour le fer forgé. 0^m043 pour l'acier..... 0^m031

Dans la construction des machines locomotives où l'inertie du piston, soumis à des mouvements très-rapides, augmente dans certaines parties de la course l'effort supporté par la tige, où des

vices de montage peuvent accroître encore la fatigue qu'elle éprouve, il convient de forcer ces dimensions; il serait prudent pour le cas que nous avons choisi d'augmenter de 0^m01 à 0^m02 les dimensions calculées; c'est en effet ce que font les constructeurs. Il faut remarquer, en outre, que des tiges trop minces pourraient fléchir sous le poids du piston, ce qui occasionnerait l'ovalisation du cylindre, et pourraient surtout fléchir pendant le refoulement. — On doit préférer l'acier qui, indépendamment du moindre poids à résistance égale, a l'avantage de prendre un plus beau poli et de mieux se conserver que le fer; des tiges creuses en acier auraient une supériorité incontestable.

3° GLISSIÈRES OU GUIDES DU PISTON. — Ainsi qu'on l'a vu, lorsque nous avons donné la description sommaire de la machine locomotive, la tige du piston s'engage dans une tête, *coquille* ou *cross* du piston, qui glisse entre des guides métalliques destinés à maintenir la tige du piston dans sa direction rectiligne, et à résister à la poussée oblique de la manivelle. La coquille ne peut pas être soudée à la tige, car celle-ci doit être enfilée à travers le fond du cylindre et le presse-étoupes; la tige se termine donc par un renflement cylindrique ou par un tronc de cône allongé qui pénètre dans un trou alésé coniquement et très-juste sur la coquille; l'assemblage est fait au moyen d'une forte clavette, goupillée, afin que, dans aucun cas, elle ne puisse se déranger pendant la marche.

La pl. 21 représente différentes formes de coquilles; la plupart de ces formes présentent un défaut capital: le point d'attache de la bielle ne correspond pas au milieu des *patins* de la coquille; il en résulte forcément, dès qu'il y a un peu d'usure, que la tige du piston fléchissant sous la poussée oblique de la bielle, les patins tendent à frotter par une arête et déterminent une prompte dégradation des glissières. La disposition des fig. 2 et 3 est la plus rationnelle, car toutes les pièces, tige de piston, bielle et patins, viennent s'appliquer sur un même arbre autour duquel ces dernières sont mobiles.

Les coquilles de piston sont en fer forgé; ces pièces doivent

être travaillées avec le plus grand soin, et arriver à très-peu près à leur forme définitive sous l'action du marteau. Les trous qui reçoivent la tige du piston et le boulon d'attache de la bielle doivent être percés à froid dans la masse; quelquefois, pour assurer la mobilité de ce boulon et l'empêcher de gripper, on l'enveloppe d'une virole en bronze ou en acier trempé fixée à demeure dans la coquille (fig. 4 et 5).

Les *patins* ou *coulisseaux*, dont la coquille est armée et qui frottent sur les glissières, sont généralement indépendants et rapportés à vis; on peut se contenter de faire venir sur la crosse du piston un tourillon ou téton très-court qui entre dans le coulisseau et l'entraîne, en lui laissant prendre la direction que lui imprime la glissière par l'intermédiaire des rebords dont il est armé. — Les coulisseaux doivent être formés d'un métal un peu moins dur que les glissières, car il vaut mieux que l'usure, inévitablement occasionnée par le frottement, porte sur les pièces les moins coûteuses et les plus faciles à remplacer ou à réparer. Le métal employé le plus fréquemment est la fonte; on fait quelquefois usage du bronze, et plus rarement de l'acier ou du fer trempé; la fonte a un frottement plus doux que les autres métaux sur l'acier ou sur le fer trempé des glissières. M. Polonceau a employé avec beaucoup de succès la fonte alliée de 4 % d'étain.

On comprend facilement qu'il faut une grande perfection dans le montage des pièces qui servent à guider la tige du piston, car de là dépend la conservation des coulisseaux, des glissières, de la tige du piston, de son presse-étoupes, et même des segments du piston et du cylindre. Le coulisseau supérieur est celui qui s'use le plus vite, car c'est lui qui supporte la pression due à l'obliquité de la bielle, lorsque la machine marche en avant; on peut s'en rendre compte en remarquant que le piston tire la bielle lorsqu'elle est au-dessus de l'axe des cylindres et la pousse au contraire lorsqu'elle est au-dessous; l'usure que l'on observe souvent sur le coulisseau inférieur et sur la glissière correspondante prouve l'inconvénient qu'il y a à emmancher la bielle en porte-à-faux sur la coquille.

On distingue deux sortes de *glissières*; celles qui ont été appliquées les premières sont latérales (fig. 7 et 8, pl. 22); elles sont fixées sur des longerons placés sous la chaudière et entrant dans la construction générale du châssis; chacune se compose de deux pièces en forme de cornières, en bronze ou en fonte, rivées sur les longerons; ces pièces portent deux règles en acier parfaitement dressées, entre lesquelles glisse le coulisseau des fig. 2 et 3, pl. 21. Cette disposition a été abandonnée par plusieurs constructeurs; mais quelques-uns, Sharp, entre autres, l'ont conservée avec raison, car elle permet seule d'adopter un emmanchement convenable de la bielle et de la tige du piston sur la coquille. Les glissières le plus généralement adoptées maintenant sont représentées (fig. 1 à 5, pl. 22). Deux fortes barres d'acier ou de fer trempé sont fixées par une extrémité sur les presse-étoupes du cylindre, et par l'autre extrémité, sur des supports en fer forgé, solidement attachés aux longerons des châssis et reliés entre eux par une forte entretoise. Les deux glissières sont l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la coquille qui les embrasse par les rebords dont sont armés les patins. — L'acier fondu doit être préféré à tous égards.

On rapporte souvent sur les glissières, soit dans la construction première, soit dans la réparation, des pièces en acier ou quelquefois en fonte très-dure, pour former les surfaces de frottement; on les fixe au moyen de boulons à tête noyée (fig. 4). On dispose généralement aussi de petites plaques de cuivre intercalées entre les *talons* des glissières et les supports, que l'on enlève ou qu'on amincit à la lime pour racheter l'usure produite par le service. Enfin on applique sur la glissière supérieure des *godets graisseurs* qui versent l'huile goutte à goutte, au moyen d'une mèche engagée dans le syphon. Dans les anciennes glissières on compensé l'usure des règles en acier en rapportant des épaisseurs de cuivre ou de bois dur, entre elles et leurs supports.

Les glissières, attachées seulement par leurs extrémités, doivent avoir une force suffisante pour résister à la pression de la bielle motrice qui peut atteindre, au moment du démarrage, une valeur

de 1,000 kilogr. à 1,500 kilogr. et au delà, suivant la dimension des organes de la machine et la tension à laquelle fonctionne la vapeur; cette donnée permet de calculer la section que doit avoir la glissière au milieu de sa longueur. Dans certaines machines à cylindres extérieurs qui ont un double châssis, on a pu employer des glissières entièrement en fonte en les assujettissant à la fois sur ces deux bâtis, au moyen de quatre à cinq boulons répartis sur leur longueur; dans ce cas, il faut que la fonte des patins de la coquille soit moins dure que celle des glissières.

Il faut donner aux glissières le plus de largeur possible pour diminuer la pression qu'elles ont à supporter par chaque centimètre carré, et, par suite, l'usure occasionnée par le frottement. — Les bielles à fourche restreignent la largeur qu'il est possible de leur donner.

Les supports des glissières varient dans leur forme, suivant celle de la bielle; quand celle-ci est à fourche, le corps des supports est droit, car il doit être embrassé par la fourche (*fig. 2 et 3, pl. 22*); quand, au contraire, la bielle est simple, le support est percé d'une ouverture qui livre passage à la bielle (*fig. 5*). Souvent le support des glissières sert en même temps de point d'attache à la pompe (*fig. 4*).

5 2. — Transmission du mouvement.

La pression motrice de la vapeur est, comme nous l'avons déjà indiqué, transmise à l'essieu moteur et aux roues motrices par la bielle motrice ou bielle proprement dite; lorsqu'il est nécessaire de faire concourir la charge des autres roues à la production de l'adhérence, on emploie des bielles d'accouplement qui entrent dans le système de la transmission du mouvement. C'est la disposition de ces pièces, leur forme et leur mode de construction, que nous avons à examiner.

1° ESSIEU MOTEUR. — L'essieu moteur est droit ou coudé; dans le premier cas, la machine a ses cylindres placés extérieurement.

L'essieu est calé, par ses deux extrémités, sur les moyeux en fonte ou en fer forgé des roues motrices, qui présentent un renflement en forme de manivelle; ce renflement est percé d'un trou dans lequel est ajusté un bouton de manivelle (*fig. 3 et 4, 7 et 8, pl. 25, et fig. 7 et 8, pl. 26*). Le bouton est ajusté de force dans le trou de la manivelle au moyen de la presse hydraulique; son extrémité est refoulée dans une petite cavité annulaire ménagée à cet effet; quelquefois on le cale, comme l'essieu, au moyen d'une clavette. Le bouton de manivelle doit être fait en fer trempé ou en acier.

L'essieu coudé correspond aux cylindres intérieurs; il porte deux coudes à angle droit formés chacun par deux manivelles ayant un tourillon commun; il est d'une seule pièce (*fig. 5, pl. 25, et fig. 1 et 3, pl. 26*) en fer ou en acier, il sort de la forge dans une forme aussi voisine que possible de celle qu'il aura dans la machine et qui lui est définitivement donnée à l'ajustage. M. Schivre a imaginé de faire les essieux de fer forgé en trois pièces comprenant le corps et les manivelles, en reliant celles-ci par des tourillons en acier qu'on emmanche à chaud et qu'on refoule ensuite afin de compléter l'encastrement. Un certain nombre de ces essieux coudés sont actuellement en service et ont déjà effectué un long parcours. Lorsque l'essieu moteur est droit, on cale les deux moyeux en fonte dans des positions telles que les rayons aboutissant au centre des boutons de manivelle soient exactement perpendiculaires entre eux.

Le diamètre des essieux moteurs, dans les machines que l'on construit actuellement, varie de 0^m 14 à 0^m 18, suivant leur puissance. Lorsque l'essieu est coudé, la manivelle, c'est-à-dire son tourillon et ses deux bras doivent être au moins aussi forts que le corps de l'essieu; on comprend, en effet que l'action alternative de la bielle motrice et les flexions résultant de l'instabilité de la machine fatiguent considérablement cette partie de l'essieu que sa forme rend peu propre à la résistance.

2° BIELLES MOTRICES. — Les bielles motrices doivent être assez

longues pour que la pression exercée sur la glissière par la crosse du piston ne soit pas trop considérable; dans la construction des machines locomotives, on s'applique à donner à la bielle une longueur égale à cinq fois au moins le rayon de la manivelle.

On distingue les *bielles droites* et les *bielles à fourche*; les premières consistent dans une barre de fer forgé de section rectangulaire, terminée par deux têtes, dont l'une, dite *grosse tête de bielle*, embrasse le bouton de manivelle de l'essieu moteur, et l'autre, dite *petite tête de bielle*, embrasse le boulon d'attache fixé dans la coquille ou crosse du piston; les *pl. 23 et 24*, représentent les diverses formes employées. On fait décroître les dimensions transversales depuis la grosse tête jusqu'à la petite; ce mode de construction a pour objet de donner à la pièce une plus grande résistance au point où son mouvement dans le sens vertical a la plus grande amplitude, et de l'empêcher de fouetter; il est également nécessaire d'augmenter sa force au point où elle s'applique sur la manivelle, pour le cas où les coussinets viendraient à gripper et à produire des efforts de torsion.

Les bielles à fourches représentées *fig. 3 et 4, 5 et 6, pl. 23*, se terminent du côté de la petite tête par deux branches parallèles, qui embrassent la coquille du piston et saisissent les deux extrémités du boulon d'attache ou les deux boutons venus de forge sur la pièce, et ayant leur axe commun (*fig. 4 et 5, 12, 13 et 14, pl. 21*). L'emploi de la bielle à fourche simplifie la construction du support des glissières et permet de diminuer le porte-à-faux du point d'attache sur la coquille, mais leur ajustage est plus difficile que celui des bielles droites et elles se faussent facilement. On fait disparaître en grande partie l'inconvénient qu'elles présentent en remplaçant les coussinets des petites têtes de bielle par de simples trous cylindriques, dans lesquels passe le boulon d'attache et dans lesquels on rapporte des bagues en bronze, quand l'usure a fait des progrès un peu notables.

Chacune des têtes de bielle, sauf le cas indiqué plus haut, est garnie de *coussinets* en bronze sur lesquels s'exerce le frottement des boutons de manivelle ou du boulon d'attache de la coquille;

dans quelques cas (*fig. 4 et 5, pl. 21, et fig. 5 et 6 pl. 23*), le boulon d'attache est rendu solidaire avec la petite tête de bielle, au moyen d'une clavette : c'est alors la coquille qui porte une bague formant coussinet de frottement. Les constructeurs ont adopté des dispositions diverses pour l'emmanchement des têtes de bielle et de leurs coussinets. Les grosses têtes de bielle pour essieux coudés sont à *chape mobile* (*fig. 1 et 2, 5 et 6, 7 et 8, pl. 23; fig. 1 et 2, pl. 24*). La disposition des *fig. 1 et 2 des pl. 23 et 24* est due à Sharp; elle présente une grande solidité; la chape est réunie d'une manière invariable au corps de la bielle par deux coins à double queue d'hironde, emmanchés latéralement et maintenus par un boulon traversant la chape, la bielle et les coins; ces coins empêchent la chape de se déplacer et de s'ouvrir. Le serrage des coussinets est obtenu au moyen d'une *clavette* d'acier en forme de coin, qui prend son point d'appui sur le corps de la bielle et presse le coussinet par l'intermédiaire d'une *contre-clavette* en acier taillée également en forme de coin. La clavette est assujettie par des vis de pression. Les *fig. 5 et 6, pl. 23*, présentent une modification de cette disposition; la clavette est remplacée par un coin qui est sollicité par une vis de rappel pour produire le serrage. Stephenson a employé, il y a quelques années, le mode de construction indiqué *fig. 7 et 8, pl. 23*; la chape est remplacée par un étrier en fer qui embrasse les deux coussinets et les maintient appuyés sur le corps de la bielle; celle-ci présente deux oreilles sur lesquelles s'appuient les écrous de serrage, vissés sur les deux extrémités de l'étrier. Ce système est très-simple de construction et exige une moindre hauteur sous le corps de la chaudière, pour le passage de la manivelle. Les *fig. 3 et 8, pl. 24*, représentent divers types fréquemment employés dans les machines récentes.

Les vis et les écrous employés dans le montage des machines locomotives, et surtout dans les pièces du mécanisme, doivent être assujettis avec le plus grand soin, car les secousses, et les vibrations indéfiniment répétées, que toutes les parties du système éprouvent, tendent à les faire desserrer. On peut assujettir les vis par le pro-

cédé que nous venons d'indiquer, et dont nous avons donné un autre exemple en décrivant les pistons, en emprisonnant leur tête dans une pièce rapportée après coup et qui les empêche de tourner. Pour les écrous, on passe une goupille fendue dans le corps du boulon, en ouvrant de force ses deux branches; souvent on met deux écrous l'un sur l'autre et une goupille; enfin on emploie des écrous portant à leur base une collerette taillée en forme de rochet, et dont les dents engrènent avec un petit ressort en acier ou *frein*, qui permet de serrer, mais qui empêche le desserrage spontané; il suffit même de faire appuyer un ressort un peu fortement bandé sur l'un des pans de l'écrou. On assujettit également les clavettes avec des goupilles ou avec des contre-clavettes, fendues à leur extrémité, que l'on ouvre de force après leur mise en place.

Les grosses têtes de bielles des machines à cylindres extérieurs sont quelquefois disposées comme celles qui s'appliquent sur des essieux coudés; mais souvent la chape est forgée avec le corps de la bielle (*fig. 3 et 4, pl. 23; fig. 11, pl. 24; fig. 1, pl. 25*). Une clavette, accompagnée quelquefois d'une contre-clavette à talons, fixe les coussinets sur le bouton de manivelle; des goupilles placées au-dessous, et quelquefois en dessus et en dessous, empêchent la clavette de se desserrer ou de se resserrer au delà de ce qui est nécessaire. Souvent on fixe la clavette en pratiquant sur sa tranche et sur celle de la contre-clavette des encoches demi-cylindriques réparties suivant un écartement différent pour chacune d'elles; cette disposition, imitée de celle du *vernier*, est telle qu'il y a toujours deux encoches qui se correspondent ou que l'on peut faire correspondre sans faire varier d'une manière appréciable le serrage; lorsqu'elles sont exactement en regard, elles forment un trou cylindrique, dans lequel on passe une goupille qui rend la clavette solidaire avec la contre-clavette (*fig. 3, pl. 23*). Lorsqu'il n'y a qu'une seule clavette, on y perce deux rangées de trous parallèles, disposées en forme de quinconce, et, par une très-faible augmentation ou diminution de serrage, on arrive toujours à placer un trou tangentiellement au côté supérieur ou inférieur de la chape, pour y passer une goupille.

Les petites têtes de bielles présentent les divers genres d'emmanchements que nous avons décrits pour les grosses têtes de bielles: à chape mobile (*fig. 1 et 2, 7 et 8, pl. 23*), à chape fermée (*fig. 1, pl. 25*), à fourche (*fig. 3 et 6, pl. 23*). Comme la petite tête de bielle n'a qu'un mouvement de rotation partiel et peu rapide, on se contente souvent d'y percer un œil dans lequel entre, à frottement doux, le boulon d'attache de la coquille du piston (*fig. 5 et 6, pl. 23; fig. 1, pl. 25*). Quelquefois, on rend ce boulon mobile dans une douille en bronze fixée sur la coquille, ou bien on place dans la petite tête de bielle un coussinet calé par un coin serré latéralement au moyen d'un écrou de rappel (*fig. 1 et 2, pl. 24*). La grosse tête de bielle doit toujours porter un *godet graisseur* qui renferme une mèche disposée en forme de siphon; pour la petite tête de bielle, on se contente quelquefois de percer un petit trou dans le côté supérieur de la chape, au-dessus du joint des coussinets.

3^e BELLES D'ACCOUPLLEMENT. — Lorsqu'il est nécessaire d'augmenter l'adhérence, en accouplant les roues motrices avec une des deux paires ou avec les deux autres paires de roues, on donne à celles-ci exactement le même diamètre qu'aux roues motrices. Si la machine est à cylindres extérieurs, on dispose, sur le moyeu des roues motrices, un bouton à deux tourillons, de diamètres décroissants; l'un reçoit la bielle motrice, l'autre reçoit la bielle d'accouplement; celle-ci est placée entre le moyeu et la bielle motrice qui doit, elle-même, être placée, comme l'axe du cylindre, à une assez grande distance de la roue (*fig. 7 et 8, pl. 26*). Les roues accouplées avec les roues motrices portent, comme elles, un moyeu en forme de manivelle et un bouton placé exactement à la même distance de l'axe que le bouton de la bielle motrice. Lorsque la machine est à cylindres intérieurs, on dispose de même le moyeu des roues motrices en forme de manivelle, et on lui applique un bouton, comme aux autres roues accouplées (*fig. 5 et 6, pl. 25*); le rayon des manivelles d'accouplement est alors généralement plus petit que celui des manivelles motrices. Quelques constructeurs, enfin, qui tiennent à employer un châssis extérieur

tout en accouplant les roues, prolongent l'essieu en dehors des boîtes à graisse et calent sur ses extrémités des manivelles en fer forgé, exactement semblables à celles des machines fixes (fig. 1, pl. 26). Lorsqu'il n'y a que quatre roues accouplées, il n'y a de chaque côté qu'une seule bielle d'accouplement (fig. 2, pl. 25). Lorsque toutes les roues sont accouplées, on distingue deux cas : celui où les bielles d'un même côté sont indépendantes l'une de l'autre, et celui où elles sont solidaires. La première disposition permet de donner un peu de jeu à chaque bouton extrême pour faciliter le passage des courbes, et se prête mieux aux flexions du châssis et des plaques de garde; mais elle a l'inconvénient d'augmenter la longueur et le porte-à-faux des boutons de manivelles. La seconde disposition (fig. 7 et 8, pl. 23) a les avantages et les inconvénients inverses de la précédente; les bielles sont réunies au moyen d'un boulon très-court, qui forme une articulation dans le sens vertical; leur faible épaisseur, relativement à leur longueur, permet la flexion nécessaire au passage des courbes. Les fig. 7 et 8, pl. 24 montrent une disposition analogue pour l'accouplement de quatre paires de roues.

Les emmanchements des têtes de bielle d'accouplement sont ordinairement à chape fermée, garnie de coussinets en bronze; ceux-ci sont retenus par une seule clavette en acier, fixée elle-même par des vis de pression, par une contre-clavette ou des goupilles, quelquefois par deux de ces moyens réunis. Les têtes de bielles d'accouplement sont garnies de godets graisseurs à siphon. Elles ont une section rectangulaire et quelquefois circulaire; généralement elles présentent un léger renflement vers leur milieu, et tendent vers la forme d'un solide d'égal résistance.

Les bielles motrices ou d'accouplement, comme toutes les pièces de résistance qui ont à supporter des efforts considérables, et c'est le cas général, car on proportionne à peu près leur dimension au travail qu'elles ont à effectuer, doivent être amenées par le travail de la forge aussi près que possible de leur forme définitive; de telle manière que l'outil n'enlève que peu de fer lorsqu'elles passent à l'ajustage, parce que la superficie d'une pièce

forgée est toujours la partie la plus résistante. On pourrait, dans l'intérêt de la plus grande résistance, les conserver brutes de forge; mais il est nécessaire de les blanchir et de les maintenir constamment polies, pour rendre plus apparentes les fissures et les traces de rupture qui précèdent généralement la rupture définitive.

Sur quelques chemins de fer, où le petit rayon des courbes rend plus graves les chances de rupture, on a attaché au châssis des pièces de fer en forme de coulisses fermées par le bas, dans l'intérieur desquelles les bielles jouent librement, et qui les empêchent de venir buter contre les traverses de la voie ou contre le sol, lorsqu'elles se brisent près de la tête d'avant; on a eu, en effet, des exemples de bielles qui, en butant contre un obstacle rigide après s'être brisées, ont occasionné de très-graves accidents.

— La même précaution peut être employée pour les bielles motrices; mais elle ne paraît nécessaire que pour les chemins de fer à courbes de petit rayon, surtout lorsque la nature du fer employé n'est pas de premier choix et lorsque les bielles n'ayant qu'une faible longueur sont peu flexibles.

§ 3. — Mécanisme de la distribution.

Nous avons donné la théorie de la *distribution de la vapeur* dans les machines locomotives; nous avons décrit sommairement son mécanisme, il nous reste maintenant à faire connaître en détail les pièces dont se compose ce mécanisme.

1^o EXCENTRIQUES. — Un excentrique se compose d'une partie fixée sur l'essieu moteur qui prend le nom de *poulie d'excentrique*, et d'une partie mobile qui constitue le *collier d'excentrique* auquel s'attache la *barre d'excentrique*. — La poulie d'excentrique est formée par un disque en fonte, plein ou évidé (fig. 1 et 2, pl. 32, et pl. 27 à 32); elle est formée de deux pièces qui se rapportent l'une contre l'autre, en embrassant exactement l'essieu, et qui sont reliées au moyen de clavettes noyées dans l'épaisseur du métal et de contre-clavettes (fig. 1 et 5, pl. 32), ou au moyen de goujons vissés dans une pièce et clavetés sur l'autre (fig. 2, pl. 32). Les

poulies d'excentrique sont calées sur l'essieu au moyen de clefs en acier (*fig. 2, pl. 32*), ou au moyen de vis de pression (*fig. 5, pl. 32*); dans ce dernier cas, on ferme la cavité, dans laquelle la vis est noyée, par une petite pièce ajustée à queue d'hironde, qui rend la circonférence continue. Lorsque les poulies d'excentrique sont pleines, les deux poulies adjacentes sont généralement coulées ensemble, de telle sorte qu'il n'y a que deux pièces pour un même cylindre (*fig. 1, pl. 32*); lorsqu'elles sont évidées, et quelquefois aussi lorsqu'elles sont pleines, elles sont indépendantes (*fig. 2 et 5, pl. 32*). Cette dernière disposition présente un peu moins de solidité; mais elle permet de modifier séparément les conditions de la distribution pour la marche en avant ou en arrière, en faisant varier l'angle d'avance, sans que l'on soit obligé de faire fondre de nouvelles pièces.

La circonférence de la poulie doit être disposée de telle sorte que le collier d'excentrique ne puisse pas s'échapper latéralement; on a commencé par lui donner une forme convexe peu prononcée, qui a été généralement abandonnée (*fig. 5 et 6, pl. 32*); maintenant, on trace une gorge (*fig. 1, pl. 32*) sur la circonférence de la poulie ou sur la circonférence intérieure du collier d'excentrique (*fig. 2 et 3, pl. 32*); cette pièce étant en bronze ou en fer, il est préférable, pour éviter toute rupture, d'adopter ce dernier mode de construction, car les bords de la gorge, qui sont minces, viennent mieux sur le métal le plus résistant et sont moins exposés à être brisés; en même temps, le graissage se conserve mieux.

Le diamètre des poulies d'excentrique dépend du diamètre de l'essieu et de la course du tiroir; il s'augmente de toute la quantité qui est nécessaire pour embrasser l'essieu du côté opposé au centre de l'excentrique et que l'on peut réduire à 0^m025 , en fabriquant en fer la petite moitié, dans le cas où les poulies sont indépendantes. Leur épaisseur varie de 0^m05 à 0^m07 .

Les colliers d'excentrique embrassent exactement les poulies; la surface de contact affecte des formes variables, ainsi que nous venons de l'indiquer. Ils sont composés de deux pièces, qui se

raccordent par contact suivant un plan diamétral (*fig. 2, 4, 5, 6 et 7, pl. 32*); chacune des deux moitiés du collier porte deux oreilles qui servent de point d'appui aux boulons de serrage. La partie antérieure porte un godet graisseur à siphon, et reçoit la barre d'excentrique.

Différents modes de liaisons ont été adoptés pour réunir la barre au collier d'excentrique; quelques constructeurs font le collier en fer trempé et soudent la barre à sa partie antérieure (*fig. 5 et 6, pl. 32*); d'autres, et c'est le mode de construction qui a été adopté en premier lieu, ont fait venir à la forge ou à la fonte sur le collier et sur la barre de larges pattes qui se juxtaposaient et qui étaient réunies par des boulons (*fig. 4, pl. 32*). On a cherché à consolider cette disposition, en adoptant un assemblage à queue d'hironde ou à mortaise, mais on y a généralement renoncé pour le mode d'attache représenté *fig. 2, 7 et 8, pl. 32*. La queue du collier d'excentrique et l'extrémité de la barre se terminent par de larges embases, assemblées par contact au moyen de boulons fortement serrés; un teton placé sur la barre dans le prolongement de son axe de figure entre dans un trou percé sur l'embase du collier, suivant une direction passant par le centre, et sert de repère pour le montage. Cette disposition présente un grand avantage, en permettant de conserver à la barre d'excentrique sa longueur, lorsqu'elle diminue par l'usure des colliers, ou de rectifier dans le montage un vice de fabrication; il suffit, pour cela, de rapporter entre les deux embases des épaisseurs de cuivre ou de fer.

La partie d'arrière du collier ne présente aucune particularité; lorsque la pompe alimentaire est commandée par l'excentrique de la marche en arrière, elle porte une oreille percée d'un trou pour recevoir le boulon d'attache de la bielle qui mène le plongeur (*fig. 2, 7 et 8, pl. 32*). C'est quelquefois cette pièce qui porte le godet graisseur.

Les colliers d'excentrique, lorsqu'ils sont indépendants de la barre, sont en bronze. Leur largeur est égale à celle des poulies; cependant, quand les deux excentriques sont accolés, on réduit

leur épaisseur de 0^m001 sur chaque face, afin d'avoir 0^m002 de jeu entre les deux colliers. Leur épaisseur varie de 0^m04 à 0^m07; elle doit être assez forte pour que l'on puisse aléser plusieurs fois, tout en conservant une résistance suffisante.

2° **BARRES D'EXCENTRIQUE.** — Les barres d'excentrique présentent deux types distincts, les *barres à fourche* ou à *ped de biche*, terminées par une partie en forme de V (*fig. 4 et 5, pl. 32*), et les *barres simples*, qui sont appliquées pour la distribution, au moyen de la *coulisse* de Stephenson (*fig. 7 et 8, pl. 32*).

La fourche ou le pied de biche présente une ouverture un peu plus grande que l'amplitude totale de la course du tiroir, afin que, lorsque le mécanicien change la marche, l'une des deux branches vienne toujours s'appliquer sur le bouton de la tige du tiroir ou du levier qui le commande, quelle que soit sa position. Les deux fourches sont opposées et viennent alternativement saisir le bouton; lorsque le système du changement de marche est dans une position intermédiaire, les deux branches de chaque course ne viennent rencontrer le bouton qu'à la limite de leur course et le tiroir reste immobile, recouvrant les deux lumières, c'est-à-dire au *point mort*. Chaque fourche se termine, au sommet du V, par une cavité composée de deux parties, l'une affectant la forme d'un demi-cylindre, ayant un diamètre exactement égal à celui du bouton qui s'y loge, l'autre formée par les deux plans tangents à la surface de ce demi-cylindre, entre lesquels reste emprisonné le bouton qui doit toujours être en prise avec le pied de biche, quoique le mouvement relatif de ces deux pièces dans le sens vertical ne soit pas exactement concordant.

Chaque pied de biche porte, à son sommet, ou latéralement, une oreille percée d'un trou dans lequel s'engage le boulon qui a relie à la bielle de relevage et aux autres pièces du système de changement de marche que nous décrirons plus loin. Ce système n'a plus qu'un intérêt historique; on ne l'emploie plus pour les locomotives.

Les barres d'excentrique droites viennent s'attacher, d'une

manière fixe, aux deux extrémités d'une pièce spéciale qui porte le nom de *coulisse*, et qui remplit, entre autres fonctions, celle qui est attribuée, dans l'ensemble du mécanisme, aux pieds de biche. La coulisse, relevée ou abaissée avec les barres d'excentrique, comme le sont les barres à fourche, met la tige du tiroir alternativement en rapport avec l'excentrique de la marche en avant et l'excentrique de la marche en arrière, sans occasionner les chocs qui ont lieu nécessairement dans l'ancien système, où il faut que l'une des branches de la fourche vienne frapper le bouton d'enclenchement, pour déplacer le tiroir et le mettre en rapport avec l'excentrique qui doit le commander. Le bouton d'enclenchement est remplacé par un coulisseau dont la forme peut varier, comme celle de la coulisse, mais qui termine toujours la tige de tiroir. Les *fig. 9 et 10, 11 et 12, pl. 32*, représentent en détail et à l'échelle de 1/10 deux des principales formes de coulisses adoptées; les *pl. 27, 28, 29, 30 et 31* représentent plusieurs ensembles de barres d'excentrique avec leurs coulisses.

Les barres d'excentrique sont en acier fondu ou en fer plat, de 0^m08 à 0^m09 de hauteur à un bout, et 0^m05 à 0^m06 à l'extrémité opposée à l'excentrique; elles ont 0^m015 à 0^m020 d'épaisseur. Dans quelques cas, pour éviter un essieu placé au même niveau que l'essieu moteur, on a soudé l'une des barres d'excentrique. Les barres d'excentrique droites se terminent chacune par une fourchette (*fig. 8, pl. 32*) qui embrasse la coulisse, et est reliée avec elle par un boulon qui la traverse (*fig. 9, pl. 32*) ou par deux boutons très-courts, venus de forge sur les côtés de la coulisse et sur lesquels on emmanche de force la fourchette (*fig. 11 et 12, pl. 32*). Les deux poulies et les deux colliers d'excentrique devant être réunis à la même coulisse, on place celle-ci en regard de l'excentrique de la marche en avant, et on donne à la fourchette qui termine la barre la forme symétrique de la *fig. 8, pl. 32*; l'autre barre d'excentrique se termine par une fourchette dont l'une des branches forme le prolongement de la barre et dont l'autre branche est rejetée sur le côté. Quelquefois, on donne du gauche aux deux barres d'excentrique et on les termine par deux fourchettes semblables,

en maintenant toujours exactement la coulisse dans un même plan vertical.

Lorsqu'on relève la coulisse au moyen du système de changement de marche, jusqu'au point où le coulisseau de la tige du tiroir occupe son point milieu, le tiroir ne prend plus qu'un mouvement d'une très-faible amplitude, ainsi qu'on peut le reconnaître, en recherchant par un tracé graphique toutes les positions successives que prend la coulisse pour un tour complet de manivelle; si le recouvrement des bords du tiroir est assez considérable, les lumières restent fermées et le tiroir peut être considéré comme étant au point mort; c'est ce qui arrive lorsque le tiroir a 0^m045 et au delà de recouvrement total; au-dessous de cette limite, le tiroir découvre alternativement chacune des lumières d'une très-petite quantité; mais cela n'a d'inconvénient sérieux, lorsque la mise au point mort a pour objet seulement d'empêcher la machine de se mettre spontanément en mouvement, que dans le cas où le régulateur n'intercepte pas suffisamment l'accès de la vapeur.

La coulisse, ainsi que toutes les pièces de la distribution, doivent être aciérées et trempées pour résister à l'usure produite par le frottement. Les pièces qui sont en rapport avec la coulisse manquent en général de surface de frottement, en raison de la fatigue qu'elles ont à supporter; les tourillons d'attache des bielles de suspension et des barres d'excentrique devraient avoir au moins de 0^m 035 à 0^m 040 de diamètre et une longueur proportionnée; les têtes de celles-ci devraient être assez fortes pour qu'il fût possible d'y rapporter des bagues en bronze ou en acier pour remédier à l'usure; le coulisseau, lui-même, et son tourillon devraient être également beaucoup plus forts qu'on ne les fait ordinairement.

3° APPAREIL DE CHANGEMENT DE MARCHÉ. — Le mécanisme employé pour *changer la marche* ou pour mettre à volonté le tiroir en rapport avec l'excentrique de la marche en avant ou avec l'excentrique de la marche en arrière, se compose : du *levier de*

changement de marche placé à la portée du mécanicien, et qui commande tout le système; du *secteur*, qui sert à fixer le levier dans ses différentes positions; de la *barre de relevage*, qui transmet l'action du levier aux autres pièces; de l'*arbre de relevage* ou de transmission, portant un levier commandé par la barre de relevage et plusieurs leviers dont deux agissent sur les barres d'excentriques au moyen de *bielles de suspension*, et dont l'un porte souvent un *contre-poids* destiné à équilibrer le système, lorsque ces différentes pièces ne sont pas disposées de manière à ce que leurs propres poids se contre-balaient.

Le levier de changement de marche est formé généralement par une barre droite (*fig. 3, pl. 27; fig. 4, pl. 31*, mobile autour d'un axe de rotation fixé à la chaudière ou mieux au châssis. Cette barre constitue un levier du *premier genre*: ou du *second genre*, suivant que l'axe de rotation est placé dans un point intermédiaire de sa longueur ou à son extrémité; à sa partie supérieure, il porte une *manette* qui en facilite le maniement. Quelquefois, le levier de changement de marche est coudé, comme l'indiquent les *fig. 1 et 4, pl. 33*.

Le secteur est formé par deux barres de fer cintrées en arcs de cercle, qui embrassent le levier et lui servent de guide, ou par un seul arc qui passe dans une douille de même section attachée au levier, et qui en guide encore le mouvement. L'un des deux arcs, ou l'arc unique du secteur, porte des *encoches* ou *crans* qui correspondent aux points où le levier doit être fixé; celui-ci porte un *verrou* pressé par un ressort et qui peut se loger dans chacune des encoches du secteur, qu'il remplit exactement; la poignée du verrou est située au-dessous de la manette du levier lorsque celle-ci est à angle droit avec le levier, ou lui est juxtaposée lorsqu'elle en forme le prolongement, de telle sorte que le mécanicien puisse le faire jouer avec celle de ses mains qui manœuvre le changement de marche (*fig. 3 et 4, pl. 33*).

Le levier de changement de marche doit être assez long, et le rapport des deux bras de levier doit être assez grand, pour qu'un homme seul puisse changer la marche; la disposition de la *fig. 4*,

pl. 33, permet de compenser la longueur par la facilité de la manœuvrer, le mécanicien pouvant agir facilement avec les deux mains pour mettre le levier en mouvement, et avec le poids de son corps, pour l'amener à la position extrême de la marche en arrière. La résistance à vaincre est celle du frottement du tiroir sur la table, et accessoirement celle du presse-étoupes et des articulations de la distribution; on calcule le rapport des bras de levier en raison de cette résistance. Pour mesurer le frottement du tiroir, on détermine la pression qu'il supporte à l'extérieur sous l'action de la vapeur qui afflue dans la boîte du tiroir, et on en retranche la pression exercée à l'intérieur, sur les parties qui sont en communication avec les lumières, par la vapeur qui s'introduit dans le cylindre et par celle qui s'en échappe.

Il convient d'attacher l'axe de rotation du levier de changement de marche au châssis plutôt qu'à la chaudière; car il est soumis à des vibrations souvent très-fortes qui pourraient occasionner des fuites autour des rivets d'assemblage; en outre, la chaudière éprouvant une dilatation très-notable, à laquelle le barre de relevage ne participe pas, les conditions de la distribution se trouvent altérées, et il peut en résulter des tiraillements nuisibles à la conservation des pièces, dans certaines positions extrêmes.

L'axe de rotation est formé par un gros bouton, forgé avec une patte assez large pour recevoir 4 boulons. Il convient d'aciérer et de tremper cet axe, la douille qui l'embrasse et celle qui reçoit le boulon d'attache de la barre de relevage, ainsi que tous les boulons eux-mêmes, pour éviter aussi longtemps que possible toute espèce de jeu dans ces organes qui sont soumis à des vibrations incessamment répétées. On aciére aussi l'extrémité du verrou et les dents du secteur. Le mode d'attache du verrou a une grande importance; on se contente quelquefois de le faire passer dans un guide rapporté avec des vis sur le levier, mais il faut que le guide soit venu de orge avec le levier et qu'il ait une certaine étendue.

Le secteur est boulonné, comme l'axe de rotation, sur la chaudière ou sur le châssis; s'il est composé de deux pièces, l'une

seulement est fixée ainsi; l'autre doit pouvoir être enlevée pour faciliter les réparations: elle est assujettie à la première au moyen de boulons.

Dans ce dernier cas, les deux parties du secteur doivent être pourvues de dents qui se correspondent pour recevoir le verrou; qui, s'il engrenait avec un seul arc de cercle, manquerait de solidité. On voit, sur les fig. 1 et 2 de la pl. 30, une disposition de secteur assez avantageuse, en ce qu'elle rend le secteur et l'axe de rotation solidaires entre eux et indépendants de la dilatation. Le secteur doit être placé aussi loin que possible du point de rotation du levier, afin que l'arc parcouru par le verrou soit assez développé pour recevoir un grand nombre de crans.

La barre de relevage a depuis 2^m jusqu'à 4^m de longueur; suivant les dispositions de la machine et en particulier de la distribution; sa forme est celle d'une barre de fer plate, placée de champ, et affectant d'assez loin la forme d'un solide d'égale résistance; cette dernière forme est nécessaire pour l'empêcher de fléchir sous son propre poids, en raison même de sa grande longueur. Elle s'attache au levier de changement de marche par un boulon fixé au moyen d'un écrou et d'une rondelle (fig. 3 et 4, pl. 33, pl. 27 et suivantes); elle s'attache de même par son autre extrémité au levier qui commande l'arbre de relevage; elle se termine généralement par une fourchette qui prend le boulon de part et d'autre du levier. On dispose quelquefois un ou deux guides qui limitent son déplacement latéral, pour l'empêcher de frotter.

L'arbre de relevage, lorsque les barres d'excentriques agissent sur la coulisse de Stephenson, porte quatre ou cinq leviers: un pour recevoir l'action de la barre de relevage, deux autres recevant les bielles de suspension des deux coulisses, et le dernier où les deux derniers portant les contre-poids (pl. 27, 30 et 31). On fait quelquefois venir ces leviers de forge sur l'arbre, sur une longueur de 0^m 10 à 0^m 20, pour souder ensuite à ces amorces les barres de fer qui les complètent; on a commencé par les ajuster au moyen de clavettes; mais on peut se contenter de les souder par encollage; aujourd'hui que le travail de la forge est assez

perfectionné pour qu'un tel mode de soudure donne toute espèce de garantie.

L'arbre de relevage doit être très-fort pour résister à la torsion; son diamètre varie de 0^m 05 à 0^m 08. Il est solidement encastré à ses extrémités dans de larges paliers fixés aux longerons intérieurs des châssis et garnis de coussinets en bronze, ou plus simplement en fonte; quelquefois, on remplace le palier par une crapaudine en fer aciéré sur laquelle l'arbre s'appuie par son extrémité. On est souvent obligé de couder latéralement le levier qui reçoit la barre de relevage; dans quelques cas, on a percé un trou dans le longeron du châssis, en ayant soin de lui donner un renflement convenable, pour y faire passer le prolongement de l'arbre et lui appliquer un levier droit.

Les bielles de suspension doivent se composer chacune de deux pièces formant moise et appliquées sans porte à faux sur les deux faces latérales de la coulisse et de la douille du levier qui les supporte; elles s'attachent, si c'est le coulisseau qui est mobile, le plus près possible de lui sur la bielle qui commande la tige du tiroir, et, dans les types à coulisse mobile, au milieu ou à l'une des extrémités de la coulisse.

4^e Tiroirs. — Les tiroirs ont la forme indiquée par la *fig. 1*, *pl. 3*, et par les *fig. des pl. 27, 28, 30 et 31*; ils sont en bronze ou en fonte; ce dernier métal est assez généralement préféré; il nécessite plus de soin pour le graissage, mais il donne de plus belles surfaces de frottement et dure plus longtemps sans réparations que le bronze. Les dimensions des tiroirs sont en rapport avec celles des lumières, mais les unes et les autres ne peuvent pas être augmentées au delà de certaines limites, car la pression que la vapeur exerce sur leur surface deviendrait trop considérable, lorsque le régulateur perd et lorsqu'il est nécessaire de changer la marche; le frottement développerait, en outre, un trop grand travail résistant, et des tiraillements essentiellement nuisibles au mécanisme de la distribution; il y a donc un point vers lequel il convient de s'arrêter, lorsqu'on augmente la section des

lumières d'échappement et d'admission pour faciliter le passage de la vapeur; nous donnerons plus loin les dimensions des tiroirs et des lumières de plusieurs machines.

Les tiroirs sont horizontaux (*fig. 1 à 4, pl. 17*), verticaux (*fig. 5 à 8, pl. 17; fig. 5 et 6, pl. 18*), ou obliques à l'horizon et placés soit en dessus (*fig. 1 et 2, pl. 20*) soit en dessous (*fig. 3 et 4, pl. 18*). Dans le premier cas, la pression de la vapeur et le cadre qui les embrasse les maintiennent suffisamment; dans le second, ils sont portés sur une rainure pratiquée sur la boîte à tiroir; ils sont, de plus, retenus par le cadre qui les enveloppe, et auquel sont appliquées deux tiges, la tige du tiroir qui glisse dans le presse-étoupes et un prolongement de tige qui glisse dans un guide ou dans un second presse-étoupes dépendant de la paroi d'avant de la boîte de tiroir. Il est nécessaire que le tiroir puisse se soulever d'une petite quantité dans le cadre qui le mène, pour laisser échapper l'air ou l'eau refulée par le piston en certains cas; un ressort qui prend son point d'appui sur le cadre lui-même sert à le tenir appliqué sur la table du cylindre, lorsqu'il est vertical ou en dessous, sans cependant faire obstacle au *soulèvement* qui doit avoir lieu dans quelques cas, comme nous venons d'indiquer.

On donne généralement à la partie creuse du tiroir une forme convexe à l'intérieur pour faciliter le dégagement de la vapeur (*fig. 1, pl. 31*). Nous avons déjà eu l'occasion de parler des rebords dont le tiroir est pourvu; nous y reviendrons encore, lorsque nous aurons à donner quelques indications sur le règlement de la distribution.

Le *cadre* ou *guide* qui embrasse le tiroir est en fer forgé; il est soudé à la tige, lorsque la paroi d'avant de la boîte à tiroir est mobile; il est fixé à la tige, quelquefois par un assemblage à vis (*fig. 1, pl. 19*), et le plus souvent par des clavettes, lorsque le couvercle de la boîte du tiroir est seul mobile. Ainsi qu'on l'a vu, ce cadre porte souvent une *fausse tige*, qui concourt à guider le tiroir dans sa direction régulière, en même temps qu'elle lui sert de support, s'il est vertical ou renversé; cette fausse tige passe dans un guide fermé ou dans une boîte à étoupes. Le cadre du

tiroir est en fer de premier choix; la tige est en fer ou mieux en acier.

Quand la transmission du mouvement des excentriques aux tiroirs est directe, la tige du tiroir se raccorde toujours avec une pièce qui la prolonge et la met en rapport avec la coulisse de distribution; cette pièce est guidée par des supports reliés au châssis ou à la chaudière; elle porte assez improprement le nom de *guide de la tige de tiroir*. Dans les premières machines construites sur les plans de Stephenson, la tige du tiroir était reliée avec son guide par un emmanchement à clavette, qui éprouvait de fréquentes ruptures; quelques constructeurs ont employé, afin de pouvoir régler à volonté la longueur de la tige du tiroir, un double écrou (*fig. 6 et 7, pl. 33*); mais la disposition qui a prévalu est celle que représentent les *fig. 1 et 3, pl. 31*; dans la première, le guide se compose d'une pièce carrée glissant dans un palier en bronze ou en fonte, portant à une extrémité le *coulisseau* qui travaille dans la coulisse, et à l'autre une douille qui sert à la fixer à une pièce de raccordement de forme spéciale. Cette pièce est un étrier de fer forgé qui embrasse la douille et s'y rattache par un boulon; il reçoit à son sommet la tige du tiroir, et s'assemble avec elle au moyen de deux écrous vissés sur son extrémité filetée à cet effet. La longueur de la tige du tiroir peut être augmentée ou diminuée à volonté, ce qui permet de régler exactement sa position; l'étrier peut être démonté avec facilité, et le tiroir, isolé du mécanisme de distribution peut être mis au point mort ou à l'extrémité de sa course, sans qu'il soit nécessaire de toucher à la coulisse; enfin, on laisse un certain jeu entre la douille du guide carré et les branches de l'étrier, pour compenser, au besoin, le défaut de montage de cette première pièce et le déplacement qu'elle éprouve au fur et à mesure de l'usure de son palier. Dans le cas où la distance de l'essieu moteur au cylindre est très-considérable, le guide carré, maintenu par son support ordinaire, est prolongé par une tige cylindrique qui glisse dans un autre support ou guide additionnel; l'étrier est formé par deux bielles parallèles, dont la mobilité autour de leurs boulons d'attache remédie en

partie aux défauts de montage et aux effets de l'usure du palier du guide carré.

On remplace souvent le guide carré que nous venons de décrire par un guide cylindrique cannelé ou non, et même le guide par une bielle de suspension qui porte le coulisseau et qui est mise en rapport avec la tige du tiroir par une bielle mobile autour de ses deux boulons d'attache; la tige du tiroir n'a pas d'autre guide que la boîte à étoupes, au delà de laquelle elle ne présente que la saillie strictement nécessaire (*fig. 1 et 2, pl. 30, et fig. 3, pl. 34*). Cette disposition, appliquée depuis longtemps par Sharp et Roberts, peut l'être encore dans beaucoup de cas où le coulisseau est porté par la bielle de transmission, et où celle-ci est attachée directement à la bielle qui la guide. Le coulisseau au lieu d'être assujéti à décrire une ligne droite, est assujéti à suivre un arc du cercle d'un assez grand rayon; le petit déplacement qu'éprouve incessamment le coulisseau dans la coulisse, dont le point de suspension est maintenu sur un arc de cercle, peut se trouver diminué dans cette nouvelle disposition; elle a dans tous les cas l'avantage très-grand de substituer des frottements de tourillons et de boulons, au frottement très-dur du guide carré sur son palier.

Lorsque les machines ont les roues d'avant accouplées avec les roues motrices, et que l'on veut donner aux cylindres une position horizontale ou faiblement inclinée, on emploie divers artifices pour éviter l'essieu d'avant; par exemple, on coude le guide de la tige du tiroir (*fig. 6, pl. 33*), ou bien on remplace l'étrier ordinaire par un étrier qui embrasse l'essieu (*fig. 5, pl. 33*).

La première forme a l'avantage de n'exiger le démontage d'aucune pièce de la distribution quand on veut enlever les roues pour quelque réparation.

Lorsque la coulisse affecte la forme représentée par les *fig. 11 et 12, pl. 32*, le guide se termine par une partie plate qui pénètre entre les deux flasques de la coulisse et qui porte deux boutons cylindriques au pied desquels est percée une gorge cylindrique, et sur chacun desquels on ajuste un petit patin en acier qui glisse

à frottement doux dans la rainure tracée sur la flasque correspondante de la coulisse; les deux patins sont emprisonnés dans la coulisse, lorsque les deux flasques ont été rapprochées et boulonnées l'une sur l'autre; ils forment, par leur réunion, le coulisseau proprement dit.

On a fait quelquefois des coulisseaux en bronze, mais l'acier trempé doit être seul employé. Lorsque la coulisse a la forme indiquée par la *fig. 9, pl. 32*, le guide carré ou le guide à suspension de la *pl. 30* se termine par une fourchette qui embrasse la coulisse; le coulisseau est formé souvent d'un bloc en deux parties qui embrasse par de légères saillies latérales les branches de la coulisse, et qui est emmanché au moyen d'un boulon avec la fourchette du guide; d'autrefois, ce sont les branches de la fourchette qui embrassent exactement la coulisse et qui servent de guide au coulisseau. La coulisse est décrite suivant un arc de cercle dont le rayon est égal à la longueur des barres d'excentrique.

Toutes les pièces frottantes et dont il importe d'empêcher l'usure doivent être en acier ou en fer trempé au paquet. Les constructeurs doivent apporter un soin tout particulier à assurer la conservation des pièces dont l'usure ne peut pas être compensée par le serrage de quelques boulons, ou par l'interposition de quelques feuilles de métal, et qui doivent être remplacées ou soumises à des réparations dispendieuses lorsqu'elles ont pris un peu de jeu; ces observations s'appliquent en particulier à la coulisse et à son coulisseau ainsi qu'à toutes les articulations.

5°. APPLICATION DE LA COULISSE A LA DÉTENTE VARIABLE.—Nous n'avons considéré jusqu'ici la coulisse que comme un des éléments du mécanisme de changement de marche, en ayant soin d'indiquer par avance qu'elle était devenue, entre les mains de M. Stephenson, un moyen de produire la détente variable, moyen qui a prévalu d'une manière générale, malgré son imperfection théorique. — Nous devons donc entrer dans des détails assez circonstanciés sur cet appareil.—On se rappellera qu'il y a deux modes de construction pour la coulisse : le premier (*fig. 11, pl. 32*)

comprend deux flasques qui embrassent le coulisseau; il permet de faire correspondre exactement, soit pour la marche en avant, soit pour la marche en arrière, le coulisseau avec l'extrémité de la barre d'excentrique, et au besoin de lui faire dépasser ce point; il permet de suspendre la coulisse, soit au milieu de sa longueur, soit à l'une des extrémités. — Le second mode de construction (*fig. 9, pl. 32; fig. 1, pl. 30 et 31*) présente une coulisse d'une seule pièce qui, habituellement, est attachée aux barres d'excentrique par des points situés au delà de l'espace parcouru par le coulisseau, et qui est suspendue par l'une de ses extrémités.

Le premier mode de construction, connu sous le nom de *coulisse double*, doit toujours être préféré lorsque la disposition de la machine en permet l'emploi. — La *coulisse simple*, lorsque l'attache des barres d'excentrique a lieu à ses extrémités, réduit la course du tiroir pour une excentricité donnée et conduit par suite à faire des excentriques d'un grand diamètre; en outre, le point de suspension étant à l'une des extrémités, il en résulte que plus le coulisseau s'éloigne de ce point, plus grand est son déplacement, et les perturbations qui en résultent produisent dans la distribution des irrégularités toujours fâcheuses.

On a cherché à remédier aux inconvénients que nous venons de signaler pour la coulisse simple. En attachant les barres d'excentriques sur des saillies placées à l'arrière de la coulisse (*fig. 1 et 2, pl. 28*), on a donné au coulisseau la possibilité de se placer en face de l'attache des barres d'excentrique, et on a obtenu toute la course voulue; mais les perturbations ou glissements du coulisseau dans la coulisse prennent une telle amplitude que l'avantage de la modification devient fort contestable.

On a aussi essayé de ramener les points d'attache des barres d'excentrique latéralement et en face du milieu de la coulisse, ce qui présentait une distribution identiquement semblable à celle d'une coulisse double; mais cette disposition ne peut s'obtenir qu'au moyen de pièces rapportées, assez compliquées et peu

solides; elle demande d'ailleurs plus de place que la coulisse double, et l'usage n'en a pas été généralisé.

Enfin, on emploie souvent une disposition particulière de coulisse qu'on appelle *coulisse renversée* par opposition à la coulisse ordinaire. Elle tourne, sa convexité vers l'essieu moteur et sa concavité vers le tiroir (pl. 28 et 75); elle est suspendue d'une manière fixe au bâtis ou à la chaudière, et c'est le coulisseau attaché à la bielle de commande du tiroir qui se déplace sous l'action de l'appareil de changement de marche. Cette coulisse exige que l'on puisse donner à la bielle du tiroir une longueur assez considérable, tout en conservant aux barres d'excentrique une longueur suffisante, et, par suite, l'emploi n'en est pas toujours possible; elle a l'avantage de rendre la manœuvre de l'appareil de changement de marche plus facile. — Quant à la distribution, elle lui apporte plusieurs améliorations; elle maintient l'avance à l'admission sensiblement égale à tous les crans de la détente; elle régularise d'une manière très-sensible l'ouverture des tiroirs, l'admission, les échappements et les compressions des deux côtés du piston. La coulisse renversée est suspendue tantôt par son milieu, tantôt par une des extrémités; nous devons faire remarquer, en outre, que quelques constructeurs ont substitué à la suspension proprement dite par une bielle, des glissières, entre lesquelles le milieu de la coulisse est maintenu à une hauteur fixe avec faculté de se mouvoir rectilignement (pl. 29, fig. 1 à 3).

La variation de la détente s'obtient en faisant varier la position du coulisseau dans la coulisse, soit en déplaçant la coulisse, soit en déplaçant la bielle du tiroir dans le cas de la coulisse renversée, à l'aide du levier de changement de marche; le verrou, dont ce levier est armé, vient se placer dans une série d'encoches qui forment les divers crans de la détente, tant pour la marche en avant que pour la marche en arrière. Il résulte de ces variations de position du coulisseau dans la coulisse, ainsi qu'on l'a d'abord constaté par tâtonnement au moyen d'épures, des variations dans le mouvement du tiroir, telles que : plus le coulisseau est rapproché du milieu de la coulisse, moins l'admission de

la vapeur est étendue, plus l'admission se trouve promptement interceptée, et plus la détente est prolongée. — Ce résultat est la conséquence des perturbations apportées à la marche du tiroir par l'action de la coulisse, dont trois points sont assujettis : chacune des extrémités à rester liée à l'extrémité de l'une des deux barres d'excentrique, et le point de suspension à rester à une distance constante du point de rotation de la bielle de suspension.

Par tâtonnement on est arrivé et on arrive, pour chaque type de machine donné, à régulariser en quelque sorte ces perturbations, de manière à obtenir les résultats les plus favorables; et, en fin de compte, ces résultats sont assez avantageux pour que la détente par la coulisse et un seul tiroir l'ait emporté, grâce à la simplicité de la construction, sur les diverses détentes essayées jusqu'à ce jour.

Le tableau suivant, qui représente les conditions de la distribution dans les machines à marchandises que M. Polonceau construisait, il y a plusieurs années, au chemin de fer d'Orléans, montre fidèlement les effets produits par les variations apportées à la position relative du coulisseau et de la coulisse :

POSITION DU LEVIER de CHANGEMENT DE MARCHÉ.	1 ^{re} POSITION.		2 ^e POSITION.		3 ^e POSITION.		7 ^e POSITION.		9 ^e POSITION.	
	Ar- rière.	Avant.	Ar- rière.	Avant.	Ar- rière.	Avant.	Ar- rière.	Avant.	Ar- rière.	Avant.
Avance linéaire du tiroir (en millim.)...	2	1,5	2,5	2	5	5	5,5	5	4	5,5
Ouverture maximale des lumières (en mill.)...	25	27	16	19	11	15	7	7	5	5
Admission (en centièmes de la course)	0,70	0,74	0,60	0,62	0,45	0,46	0,51	0,50	0,48	0,47
Échappement (en millimètres).....	55	25	50	41	76	75	110	108	159	174
Compression (en millimètres).....	79	60	114	95	172	150	218	215	300	290
Course du tiroir (en millimètres).....	100		88		75		67		60	

L'avance linéaire ne varie pas dans des proportions très-

étendues; l'ouverture maxima des lumières diminue considérablement, et dans les derniers crans il y a un véritable étranglement, qui a pour conséquence un abaissement très-notable de la tension de la vapeur dans l'intérieur du cylindre. — L'admission qui, au premier cran, était, suivant la face du piston que l'on envisage, de 70 à 74 p. 0/0, se trouve réduite jusqu'à 18 et 17 p. 0/0; la détente est alors de plus des 4/5^{es}. — L'échappement s'ouvre d'autant plus tôt que la détente est plus grande; il en est de même pour la compression; celui-là commence, au dernier cran, lorsque le piston a encore 16 ou 17 centimètres à parcourir; celle-ci commence lorsque le piston est vers le milieu de sa course. — Ces résultats peuvent varier à l'infini; nous donnerons plusieurs exemples de distributions actuellement adoptées, lorsque nous aurons plus complètement examiné les propriétés de ce système de distribution, aussi complexe dans son jeu et dans ses effets que simple dans sa construction matérielle.

La tige du tiroir est ordinairement maintenue par un guide, lequel n'est quelquefois que le presse-étoupes, et alors le coulisseau est assujéti à rester sur une ligne droite; la coulisse éprouve, dans chaque position qui lui est imposée par celle du levier de changement de marche, un petit mouvement d'oscillation vertical, qui se combine avec le mouvement horizontal imprimé au tiroir; ou plus exactement, le mouvement du tiroir est la composante rectiligne, et parallèle à la table du tiroir et à sa tige, d'un mouvement plus ou moins complexe que le point de la coulisse correspondant au coulisseau accomplit dans l'espace, sous l'influence de trois barres rigides auxquelles la coulisse est liée. — Les épures de la planche 29 *bis* représentent ce mouvement, pour le point qui correspond à la position moyenne du coulisseau, aux extrémités et au milieu de la course, — la figure 1 dans le cas de la coulisse à double flasque suspendue par son milieu, — la figure 2 dans le cas de la coulisse simple suspendue par une de ses extrémités, le point d'attache de la bielle de suspension étant en dessous. — Ces épures montrent qu'à proprement parler il n'y a pas de point mort; le tiroir ne peut empêcher complètement

le travail de la vapeur que si les recouvrements sont assez larges pour que les lumières ne soient pas démasquées. — Le mouvement figuré par les deux épures se complique lorsque le tiroir est commandé par une bielle et que celle-ci est guidée par une bielle de suspension attachée à un point fixe, comme dans la machine *le Rhône* (fig. 1 et 2, pl. 30); mais alors, en plaçant la bielle de relevage de la coulisse, et celle qui guide la bielle du tiroir dans deux positions voisines, en leur donnant à peu près la même longueur, on peut, au moins pour la marche en avant, qui est la plus habituelle, rendre le mouvement du coulisseau à peu près pareil à celui de la partie correspondante de la coulisse, et, par suite, diminuer le mouvement de déplacement relatif de la coulisse et du coulisseau, et diminuer le frottement et l'usure qui en résultent. La planche 29 représente dans ses diverses positions correspondantes: la manivelle, les rayons d'excentricité, la coulisse et le tiroir; cette coulisse est à double flasque, avec tourillons à son milieu assujettis à se mouvoir entre des glissières; cette figure représente, avec le tracé seul des axes de figure, une des distributions adoptées sur le chemin de fer d'Orléans.

Il serait trop long d'étudier par tâtonnement, au moyen d'épures, une distribution à coulisse pour une machine donnée, c'est-à-dire dans laquelle la position relative de l'essieu moteur, des cylindres et des tiroirs, est généralement fixée d'une manière invariable, pour laquelle on se donne également *a priori*, en raison du service que la machine doit accomplir, la détente au cran de marche ordinaire, mais pour laquelle il faut ensuite combiner tous les éléments variables, de manière à obtenir, pour la marche en arrière et pour les divers crans, des conditions d'admission, d'échappement, de compression, etc., qui donnent, eu égard à la destination de la machine, la plus grande utilité possible. — La course du piston et le diamètre des manivelles sont également donnés; quant à la longueur des barres d'excentrique, il y a avantage à les faire aussi longues que possible, ce qui dépend des dispositions même de la machine; si la coulisse est renversée, il convient de donner également à la bielle du tiroir la plus grande

longueur possible; dans le premier cas, le rayon de courbure de la coulisse est égal à la longueur des barres d'excentrique, dans le second, à celles de la bielle du tiroir: — mais il reste comme éléments variables :

Le rayon d'excentricité;

L'angle de calage des excentriques;

La position relative des barres d'excentrique, dont chacune peut être attachée à volonté à l'une ou l'autre des extrémités de la coulisse;

La longueur de la coulisse;

(Son mode de construction, simple ou à double flasque, entraînant un mode particulier d'attache pour les barres d'excentrique);

La position de son point de suspension, au milieu, à l'une ou l'autre des extrémités;

La longueur de la bielle de suspension et la position de son point de rotation en dessus ou en dessous;

L'orientation de la coulisse qui peut être renversée et tourner sa convexité vers le tiroir, etc., etc.

On a recours, pour suppléer à ces tâtonnements et pour se guider sur la représentation exacte des mouvements relatifs, à une sorte d'appareil ou de modèle en bois ou en métal, dont on fait varier à volonté les éléments et que l'on fait marcher à la main pour observer, et prendre en quelque sorte sur le fait, le mouvement relatif du piston et du tiroir. Cet appareil (*fig. 4, pl. 29 bis*) se compose d'une planche en sapin bien dressée; sur l'une des extrémités de cette planche on fixe deux lattes parallèles, entre lesquelles glisse une planchette en bois qui représente le tiroir; puis, on fixe des bandes de papier sur la planchette où l'on figure le tiroir et sur l'une des lattes où l'on trace les lumières du cylindre. La planchette figurant le tiroir porte un prolongement auquel on attache un coulisseau, la coulisse étant elle-même formée par une pièce de bois, et portant une rainure en arc de cercle, dans laquelle s'engage ce coulisseau. — Vers l'autre extrémité de la planche, à la distance réelle de la coulisse à l'axe de l'essieu moteur, se trouve un boulon, traversant une planchette

terminée par une pointe, qui indique les diverses positions de la manivelle; sur cette première planchette on en place une seconde de forme circulaire, représentant l'un des excentriques. Une rainure, faite suivant un diamètre, laisse passer le boulon d'axe et sert à faire varier le rayon d'excentricité. — On règle l'angle de calage en inclinant plus ou moins l'axe de ce disque, par rapport à la manivelle; on fixe enfin la position de cet excentrique par une vis qui traverse les deux planchettes. Une latte de sapin, prise sur un collier qui embrasse cet excentrique, figure la barre d'excentrique. Pour figurer le deuxième excentrique et sa barre, on se sert d'une seconde latte de sapin, qu'on fixe, au moyen d'une vis, d'une part sur la coulisse, de l'autre sur un point déterminé convenablement sur le premier excentrique. On peut donc faire varier à volonté, et par le déplacement de quelques vis, le rayon d'excentricité et les angles de calage.

On comprend également que l'on peut faire varier les points d'attache des barres d'excentrique à la coulisse. Pour la suspension, on se sert de même d'une latte en sapin qu'on passe en dessous de la coulisse et qu'on attache d'un bout à celle-ci, au moyen d'une vis, au point où on veut la suspendre, et de l'autre à un point qui correspond à l'extrémité du levier de relevage, sur la planche servant de table. Pour faire varier la détente, on trace sur la table l'arc décrit par l'extrémité du levier de relevage, et c'est sur les différents points de cet arc que l'on fixe successivement l'extrémité de la bielle de suspension qui entraîne la coulisse.

Pour comparer la course du piston avec celle du tiroir, on trace sur la table le cercle décrit par la manivelle, puis la ligne droite qui correspond à l'axe du cylindre; on divise celle-ci en cent parties égales, et de l'extrémité de chaque division comme centre, avec une ouverture de compas égale à la longueur de la bielle, on décrit des arcs de cercle qui viennent couper le cercle de la manivelle aux différents points que cet organe occupe pour les positions correspondantes du piston, et l'on numérote ces points; par ce moyen, la pointe placée sur la première planchette, qui re-

présente la manivelle, indique pour chaque position du tiroir les positions correspondantes du piston.

On a ainsi, en vraie grandeur, un spécimen exact du mécanisme, dont le jeu correspond exactement à celui des pièces de la machine, qui permet d'observer toutes les circonstances du mouvement relatif du piston et du tiroir, et de chercher, par tâtonnement, quelles sont les dispositions les plus favorables pour obtenir une bonne distribution et une détente régulière, prolongée dans des limites étendues. C'est au moyen de cet appareil qu'ont été relevés les diagrammes des *fig. 2* et *3*, *pl. 29 bis*, et qu'ont été combinées, pour la plupart, les distributions que nous citerons plus loin comme exemples.

La théorie d'un mécanisme dont le jeu est aussi compliqué, et dans lequel il y a tant d'éléments variables, devait être nécessairement fort difficile à faire; néanmoins, le problème a été abordé et résolu, de la manière la plus complète, par M. Phillips, ingénieur des mines, successivement ingénieur en chef du matériel du chemin de fer de l'Ouest et du Grand-Central jusqu'au moment des fusions.

La théorie de M. Phillips, qu'il complète en ce moment par l'étude de la coulisse renversée, permet de faire par le calcul, sans tâtonnement, ce que l'on fait dans les ateliers avec l'appareil que nous venons de décrire. — La théorie de M. Phillips, entièrement d'accord avec l'expérience, a permis également de formuler, d'une manière précise, les *propriétés* de la coulisse et les *conditions générales* de sa construction, que les praticiens, et en particulier M. Polonceau, qui s'est beaucoup occupé de ce sujet, avaient reconnues, mais qu'on pouvait hésiter à formuler à l'état de lois rigoureuses.

Dans la coulisse ordinaire, c'est-à-dire celle dont la concavité est tournée vers l'essieu moteur :

1° En déplaçant la coulisse, c'est-à-dire en fixant le levier de relevage aux crans successifs de son secteur, de manière à faire varier la position du coulisseau qui mène le tiroir, depuis l'extrémité de l'arc qui forme la coulisse jusqu'à son milieu, on

réduit de plus en plus l'admission, et par conséquent, on fait varier la détente;

2° En même temps que l'admission diminue, pour les divers crans de la détente, l'avance à l'échappement et la compression, ou l'étendue de la course rétrograde pendant laquelle l'échappement est supprimé, augmentent, en même temps que l'ouverture maxima des lumières diminue, de telle sorte que l'admission est de plus en plus étranglée;

3° Lorsqu'on se donne la condition, la plus favorable de toutes celles qu'on peut choisir *a priori*, que l'avance linéaire variera de la même manière, pour chaque face du piston, lorsqu'on passera par les divers crans de détente du point mort au cran de la plus forte admission, le rayon de fabrication de la coulisse doit être exactement égal à la longueur des barres d'excentrique;

4° Lorsque les barres d'excentrique sont *croisées*, l'avance linéaire diminue au fur et à mesure qu'on augmente la détente, c'est-à-dire qu'on rapproche le coulisseau du point mort;—lorsque les barres d'excentrique sont *droites*, c'est-à-dire non croisées, l'inverse a lieu, l'avance linéaire augmente au fur et à mesure que la détente est plus prolongée ou l'admission moins étendue. (On considère les barres comme *croisées* lorsque, la manivelle motrice étant tournée du côté opposé à la coulisse, les projections des barres d'excentrique sur le plan vertical *se croisent*, et *vice versa*; elles sont *droites*, ou non croisées, lorsque la manivelle étant dans la même position, elles se projettent de part et d'autre de l'axe de la distribution *sans se croiser*);

5° Toutes choses égales d'ailleurs, le système des barres croisées donne des admissions un peu plus longues que celui des barres droites; toutefois, quand on marche avec beaucoup de détente, le contraire peut quelquefois arriver.—Les barres droites donnent plus d'avance à l'échappement et plus de compression;

6° La longueur de la coulisse n'a aucune influence sensible sur la durée de l'admission, sur l'avance à l'échappement et sur la compression, lorsque l'on compare des positions correspondantes du levier de relevage; seulement, lorsqu'on diminue sa longueur,

elle prend des inclinaisons plus fortes, le mouvement du coulisseau se trouve gêné, et il peut y avoir quelques perturbations dans la marche du tiroir; il y a donc intérêt à donner une assez grande longueur à la coulisse, lorsque cela est possible;

7° La longueur de la bielle de suspension de la coulisse n'a jamais qu'une faible influence sur la distribution, lorsqu'on se tient dans les limites actuellement employées; il n'y a pas d'avantage bien marqué à la porter au delà de 0^m 40 à 0^m 50. — Cependant, lorsqu'on n'est pas gêné par le manque de place, il convient de la maintenir aussi longue que possible, pour diminuer le jeu du coulisseau dans la coulisse; elle doit être perpendiculaire à l'axe du système de la distribution, et le rencontrer, lorsqu'elle est dans sa position moyenne, à une distance du centre de l'essieu égale à la longueur de la barre d'excentrique; l'influence de la position du point d'attache de la bielle de suspension sur la coulisse, à l'extrémité supérieure ou inférieure, ou bien au milieu, est négligeable, car il n'en résulte que de petites perturbations dans le sens vertical, qui sont négligeables quant à la marche du tiroir;

8° La dimension du rayon d'excentricité n'influe que de quantités tout à fait négligeables sur la durée de l'admission, toutes choses égales d'ailleurs, mais elle influe sur l'ouverture maxima des lumières, qui varie, pour tous les crans de la détente, à peu près proportionnellement au rayon d'excentricité;

9° En augmentant l'angle de calage des excentriques, on diminue la durée de l'admission et on augmente la détente, surtout dans le voisinage de la pleine admission, mais en même temps on diminue les ouvertures maxima d'introduction; — en donnant à l'excentrique de la marche en arrière un angle de calage plus petit que celui de la marche en avant, on peut pousser la détente plus loin qu'avec les angles symétriques, sans nuire à la pleine admission. En détruisant la symétrie des angles de calage, on trouble les conditions de la distribution pour la marche en arrière; cela n'a pas d'inconvénient pour les machines locomotives lorsqu'elles ne sont pas destinées, comme cela a lieu cependant dans

quelques cas, à marcher tantôt en avant, tantôt en arrière; il faudrait alors conserver la symétrie du calage des excentriques; il en serait de même pour les machines d'extraction employées sur les mines.

Les règles qui précèdent s'appliquent également à la coulisse renversée, sauf pour ce qui concerne l'avance à l'admission qui reste sensiblement la même, le rayon de cette coulisse étant égal à la longueur de la bielle qui commande la tige du tiroir. Cette disposition n'offre pas, d'ailleurs, d'avantage pour la longueur de la détente et l'ouverture maxima des tiroirs.

Nous donnons ci-après plusieurs exemples de distributions actuellement adoptées sur différents chemins :

Le premier exemple donnera une fois pour toutes l'explication des intitulés de colonnes des tableaux; dans les autres exemples, il suffira de les inscrire en abrégé. Sauf dans le dernier tableau, on s'est contenté de donner la réglementation pour le premier cran et pour les principaux crans intermédiaires du secteur de changement de marche.

Le premier cran est celui qui est le plus éloigné du point mort, et qui correspond, par conséquent, à la plus grande admission. Le dernier cran est celui qui touche le point mort, ou milieu du secteur. Dans chaque colonne, on voit deux rangs de nombres : le premier correspond à la distribution du côté de l'avant du cylindre, et l'autre, à celle du côté de l'arrière du cylindre. — La lettre *R* inscrite au-dessus ou à côté du nombre qui exprime l'avance indique que l'avance est négative ou s'est changée en retard.

1^{er} EXEMPLE.

MACHINE A MARCHANDISES DU CHEMIN DE FER DU NORD (système Engerth), construite au Creusot, en 1857.

Coulisse renversée, suspendue par le milieu (*pl.* 28); le point d'attache des barres d'excentrique est en dehors de l'axe de la coulisse; longueur du rayon de la coulisse et de la bielle du tiroir, 1^m 765; longueur des barres d'excentrique, 1^m 100; angle de calage,

22° 30' pour la marche en avant comme pour la marche en arrière; rayon d'excentricité, 0^m 07; largeur des lumières d'admission, 0^m 045; recouvrement des tiroirs à l'intérieur, de chaque côté 0^m 004, à l'extérieur 0^m 027 pour l'avant du tiroir et 0^m 0307 pour l'arrière; — 12 crans au secteur de chaque côté du point mort. Le tableau suivant donne la distribution qui a été relevée directement sur la machine même, après plusieurs mois de service. Quoique les données de cette distribution présentent d'assez notables différences, la machine fait cependant un bon service.

Numéros des crans du secteur.....	MARCHÉ EN AVANT.												Point mort
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Côté du piston.....	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.	LITR.
Avance linéaire du tiroir à l'admission, en millimètres.....	4	10	4	10	4	10	4	10	4	10	4	10	4
Ouverture maxima des lumières, en millim.	42	43	33	33,5	27,5	20	24	18,5	20	12	17,5	8,5	10
Amplitude de l'ouverture à l'admission, en centièmes de la course.....	81,5	76	76,5	70	69	62	61	57	58	50	44	42	25
Chemin restant à parcourir par le piston lorsque l'échappement commence, en centièmes de la course.....	6,5	5,5	8	7	11	9,5	12	11,5	14	13,5	17	16,5	19,5
Chemin parcouru par le piston pendant la compression, en centièmes de la course.....	8,75	8,5	10,5	10	14	13,25	17,5	16,25	19,75	17,5	21	22	28,75
Course du tiroir, en millimètres.....	142,5	121,5	108,5	101,5	95	87	80,5	77	73,5	71	71	71	71
Amplitude de glissement du coulisseau dans la coulisse, par tour de manivelle, en millimètres.....	50	50	45	41	40	40	35	35	35	35	35	35	35
Amplitude linéaire du tiroir à l'admission, en millimètres.....	4	10	4	10	4	10	4	10	4	10	4	10	4
Ouverture maxima des lumières, en millim.	42	45	32,5	36	21	7,5	20	24	16	20,5	12,5	17,5	10
Amplitude de l'ouverture à l'admission, en centièmes de la course.....	82	79	78	71	71	65	65	59	58	55	50	46	42
Chemin restant à parcourir par le piston lorsque l'échappement commence, en centièmes de la course.....	5	4,5	7,5	6	10	9	11,5	10,5	14	12	16	15	20
Chemin parcouru par le piston pendant la compression, en centièmes de la course.....	7	7	9,5	9	13,5	11	15,75	15	19,5	17	22,5	21,5	28,5
Course du tiroir, en millimètres.....	144,5	126	109	101,5	91	87,5	82,5	78	74,5	71	71	71	71
Amplitude de glissement du coulisseau dans la coulisse, par tour de manivelle, en millimètres.....	15,5	15,5	12	11	9	8	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5

2^e EXEMPLE.

MACHINE A MARCHANDISES DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS CONSTRUITE
PAR STEPHENSON, EN 1843.

Cette machine, connue depuis longtemps sous le nom de *Mammoth*, a eu sa distribution plusieurs fois modifiée. La première édition du *Guide*, page 194, a donné la réglementation de 1849, déjà différente de celle du constructeur. Celle qui est reproduite ici est récente et a amélioré le service de la machine. Sa coulisse a la forme ordinaire à 2 flasques; elle est suspendue par le milieu avec relevage en dessus. Les données de la distribution sont celles-ci : rayon d'excentricité, 0^m057; angle de calage, 31° 45' pour la marche en arrière et la marche en avant; longueur des barres d'excentrique, 1^m455; rayon de la coulisse, 1^m500; largeur des lumières, 0^m035; recouvrement (pour chaque côté) à l'intérieur, 0^m0005; à l'extérieur, 0^m030.

CRANS.	MARCHE EN AVANT.								MARCHE EN ARRIÈRE.									
	1		4		5		7		8		1		3		5		7	
	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière
Avance du tiroir à l'adm.	3	1	5	1	6	2,3	7	2,3	7	2,3	15	19	13	6,5	5	9	6	5
Ouverture maxima.....	50	23	24	18	15	11	8	7	7	5	51	24	24	37	18	11	12	6
Admission.....	71	75	59	63	42	46	20	23	13	18	71	76	61	63	47	49	32	27
Échappement.....	8	7	13	12	21	19	33	31	40	37	8	7	13	10	20	15	30	24
Compression.....	7	8	12	15	19	21	31	33	37	40	7	8	10	15	15	20	24	30
Course du tiroir.....	115	98	84	74	72	72	72	72	72	72	115	101	88	78				
Glissement du coulisseau dans la coulisse.....	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	12	15	15	17				

3^e EXEMPLE.

MACHINE A MARCHANDISES DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS CONSTRUITE
EN 1857, PAR M. POLONCEAU.

Coulisse renversée à 2 flasques, suspendue par le milieu : —

rayon d'excentricité, 0^m060; angle de calage, 30°, égal pour la marche en avant et en arrière; longueur des barres d'excentrique, 1^m350; rayon de la coulisse et longueur de la bielle du tiroir, 0^m950; largeur des lumières, 0^m035; recouvrement (de chaque côté) à l'intérieur, 0^m0005 et à l'extérieur, 0^m030.

CRANS.	MARCHE EN AVANT.								MARCHE EN ARRIÈRE.									
	4		4		7		9		11		1		5		5		7	
	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière
Avance du tiroir à l'admission.....	4 1/2	6	4 1/2	6	4 1/2	6	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5
Ouvert. maxima.....	52	98	22	18	13 1/2	11 1/2	8 1/2	8 1/2	6	6	33	27	20	16	11	10	6	6
Admission.....	70	74	60	63	44	45	50	30	15	15	69	72	36	38	35	37	45	47
Échappement.....	11	8	15	11	22	18	30	25	20	35	11	9	17	14	27	23	40	36
Compression.....	11	11	11	15	18	22	25	30	35	40	9	11	14	17	25	27	36	40
Course du tiroir..	119	100			85			77		71	119	98			81			68
Glissement du coulisseau dans la coulisse.....	14	11			8			6		5	16	11			5			3

4^e EXEMPLE

MACHINE A VOYAGEURS DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS CONSTRUITE
EN 1857, PAR M. POLONCEAU.

Coulisse renversée, à 2 flasques; au lieu d'une suspension par le milieu à l'aide de bielles, les tourillons de la coulisse sont maintenus entre 2 glissières (fig. 1, pl. 29); avec faculté de se déplacer rectilignement : rayon d'excentricité, 0^m06; angle de calage, 30° dans les deux sens de marche; longueur des barres d'excentrique, 1^m500; rayon de la coulisse et longueur de la bielle qui la relie au tiroir, 0^m875; largeur des lumières, 0^m035; recouvrement, de chaque côté, intérieur 0,0005 et extérieur

0^m 030. Le secteur a 10 crans pour la marche en avant, et 7 crans pour la marche en arrière.

CRANS.	MARCHÉ EN AVANT.										MARCHÉ EN ARRIÈRE.						
	1		5		7		9		10		1		5		7		
	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	
Avance du tiroir à l'adm.	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	
Ouverture maxima.....	51	27	14	15	9	9	5	4	6	31	28	19	19	10	11	7	
Admission.....	72	74	47	49	38	35	31	25	16	18	70	74	57	61	36	41	
Echappement.....	9	8	20	16	27	23	31	25	16	18	70	74	57	61	36	41	
Compression.....	8	9	16	20	27	23	31	25	16	18	70	74	57	61	36	41	
Course du tiroir.....	118	87	78	72	70	70	118	98	82	72							
Glissement du coulisseau dans la coulisse.....	12	8	6	4	3	20	14	8	3								

5^e EXEMPLE.

MACHINE A MARCHANDISES DU CHEMIN DE FER DU BOURBONNAIS, Construite en 1858, à Oullins, sur les plans de MM. Cail et C^{ie}.

Coulisse ordinaire simple (pl. 30); suspension par l'extrémité inférieure, relevage par le haut: rayon d'excentricité, 0^m 075; angle de calage, 12° 19', égal pour la marche en avant et la marche en arrière; longueur des barres d'excentrique, 1^m 140; rayon de la coulisse, 1^m 140; largeur des lumières, 0^m 040; recouvrement de chaque côté: à l'intérieur, 0^m 0005 et à l'extérieur, 0^m 025.

Il existe 12 crans pour l'excentrique de marche en avant, et 9 seulement pour l'autre; nous les indiquons tous comme exemple d'une distribution complète. On remarque qu'aux deux premiers crans de marche en avant et au premier cran de marche en arrière il y a retard à l'admission d'un côté du tiroir, c'est-à-dire à l'arrière, et avance de l'autre côté, c'est-à-dire à l'avant. Ces différences sont volontaires et utiles pour arriver à des admissions à peu près égales, et compenser le jeu des pièces. La distribution de cette machine est à peu près la même dans toutes les locomotives de la maison Cail.

CRANS.	MARCHÉ EN AVANT.												MARCHÉ EN ARRIÈRE.											
	1		3		5		7		9		11		12		1		3		5		7		9	
	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière
Avance du tiroir...	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
Ouverture maxima.....	71	25	24	21	17	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4
Admission.....	71	79	70	76	68	75	66	69	62	64	59	58	53	49	43	43	35	30	29	20	20	30	30	35
Echappement.....	10	5	4	6	12	7	13	8	16	10	16	12	19	13	22	18	23	18	23	18	23	23	23	23
Compression.....	5	10	6	11	7	12	8	13	10	15	12	16	13	19	16	22	19	25	22	28	25	32	29	33
Course.....	102	89	95	84	81	74	71	64	61	54	51	44	41	34	31	24	21	14	11	8	5	2	0	0
Glissement du coul.	24	24	24	24	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

6^e EXEMPLE.

DÉTENTE VARIABLE PAR DOUBLE COULISSE ET DEUX TIROIRS
SUPERPOSÉS,

Appliquée à la machine à voyageurs du 4^e exemple ci-dessus,
par M. Polonceau, en 1858.

Nous avons vu que la coulisse de Stephenson produisait, pour les déteintes un peu fortes, des étranglements de vapeur qui réduisaient la pression dans les cylindres, qu'en outre, elle donnait lieu à des échappements anticipés et à de fortes compressions qui, lorsqu'on marche à grande vitesse, et avec une admission de 25 p. 0/0, réduisent dans une forte proportion l'effet utile de la vapeur. C'est ce qui apparaît clairement lorsqu'on examine les diagrammes produits dans ces conditions par *l'indicateur de Watt*. Pour éviter ces inconvénients, M. Polonceau a imaginé la disposition suivante, qu'il applique à l'une des machines du chemin de fer d'Orléans.

Les deux excentriques ordinaires de la marche en avant et de la marche en arrière conduisent une double coulisse composée de deux coulisses ordinaires accolées et ne faisant qu'une seule pièce (voir fig. 10, pl. 29). Deux tiroirs superposés sont conduits chacun par le coulisseau de l'une des coulisses; chaque coulisseau est manœuvré par un levier spécial de changement de marche.

Le premier tiroir est exactement dans les conditions du tiroir ordinaire et agit de la même manière. Au delà de ses bords extrêmes se trouvent deux lumières de mêmes dimensions que celles du cylindre; le second tiroir n'est qu'une plaque de fonte dont la longueur est exactement celle laissée entre les orifices supérieurs des deux lumières du tiroir inférieur.

Le premier tiroir sert à l'échappement; le second n'est destiné qu'à intercepter les introductions: il produit la déteinte.

On comprend dès lors qu'en plaçant le levier d'échappement au point extrême de sa course, et manœuvrant seulement le tiroir d'introduction, on peut avoir pour toutes les déteintes des compres-

sions et des échappements constants; ou bien les augmenter et les diminuer à volonté en changeant de cran le levier qui commande ce tiroir.

Du mouvement combiné des deux tiroirs, il résulte que les ouvertures de lumières sont très-grandes et restent longtemps ouvertes; que la vapeur est coupée brusquement par une marche rapide, et même contraire, des deux tiroirs.

Un fait assez remarquable qui se produit encore par ce mouvement, c'est que pour une position donnée du tiroir d'échappement, tous les crans de la coulisse du second tiroir, depuis le point extrême de la marche en avant jusqu'au point extrême de la marche en arrière, servent à produire des déteintes de plus en plus étendues. Il en résulte que, pour une admission quelconque, il suffit, pour renverser la marche, de changer la position du levier d'échappement sans toucher à celui d'introduction.

En rendant les deux leviers solidaires, et les manœuvrant ensemble, on se trouve exactement dans les conditions d'une machine ordinaire.

Le tableau ci-dessous indique les résultats que l'on obtient, au moyen de la disposition que nous venons d'indiquer; les déteintes entre 80 et 45 p. 0/0 d'admission s'obtiennent en manœuvrant les deux leviers; les autres, qui sont celles ordinaires de marche, en ne manœuvrant que le levier de déteinte. Ce tableau ne donne la distribution que pour la marche en avant, et il suffit d'avertir que pour la marche en arrière la déteinte est un peu moins régulière; mais c'est là un fait de peu d'importance, puisque cette marche est encore supérieure à celle des machines ordinaires, que l'on peut d'ailleurs toujours obtenir en réunissant les deux leviers.

Les éléments de la distribution, c'est-à-dire la forme de coulisse, les dimensions de bielles, d'excentriques, etc., sont les mêmes qu'au 4^e exemple ci-dessus. Ainsi, les tourillons de la double coulisse sont maintenus entre deux glissières: les deux bielles qui la relieut au tiroir proprement dit et au tiroir de déteinte.

ont 0^m 875, longueur égale à celle du rayon de la coulisse, les lumières d'introduction du tiroir proprement dit ont, comme celles de la table du cylindre, une largeur de 0^m 03; le recouvrement extérieur, de chaque côté, 0^m 031, et à l'intérieur, 0^m 0005.

CRANS.	MARCHE EN AVANT.														
	LEVIERS MÉCIS.			DÉTENTE, LEVIERS SÉPARÉS				DÉTENTE, LES LEVIERS SÉPARÉS avec augmentation d'échappement.							
	1	2	3	4	6	8	9	10	11	4	6	8	9	10	11
Avance du tiroir.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ouverture maxi. ma.....	52	37	20	16	14	12	90	48	19	17	18	17	17	16	14
Admission.....	72	75	60	60	50	40	53	30	28	20	15	15	10	11	5
Echappement.....	8	8	12	12	16	16	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Compression.....	8	8	12	12	16	16	8	8	8	8	8	8	8	8	8

AVANT. APRÈS. AVANT. APRÈS.

OBSERVATION: —
Les glissements des coulisseaux dans les coulisses varient de 15 mill. à 20 mill.

CHAPITRE IV.

Châssis et Supports.

Depuis l'époque du concours de 1829, la partie de la machine locomotive, qui constitue le véhicule, a subi de nombreuses modifications de détail, mais on ne voit apparaître aucun principe nouveau, si ce n'est dans la machine Engerth, qui, nous l'avons déjà dit, fera l'objet d'un chapitre spécial. — Les constructeurs s'appliquent à rendre le châssis plus solide, à le rendre indépendant de la dilatation de la chaudière; la fabrication des essieux s'améliore, ainsi que celle des roues, que l'on construit souvent entièrement en fer forgé; — des essais multipliés sur la nature du métal employé pour les coussinets des roues, aboutissent seule-

ment à faire conserver au bronze la préférence donnée dès l'origine à ce métal.

§ 1. — Châssis.

Le châssis des machines ordinaires se compose de *brancards* ou *longerons* reliés entre eux par des *traverses*; il forme un cadre sur lequel repose la chaudière et tout le mécanisme; il repose lui-même, par l'intermédiaire de *ressorts* et de *boîtes à graisse*, sur les *essieux* des roues, et s'y rattache encore dans le sens horizontal par les *plaques de garde*; il porte comme accessoires un plancher ou *plate-forme*, sur lequel le mécanicien se place pour diriger la marche de la machine, et un système d'*attelage* pour attacher la machine à son tender et l'accoupler au besoin à d'autres machines. Nous avons décrit sommairement tous ces éléments, il nous reste à les étudier chacun séparément.

1° CHÂSSIS PROPREMENT DIT. — Le châssis, considéré isolément des pièces qui s'y rattachent, se compose de deux *longerons* en fer, reliés aux deux extrémités de la machine par des *traverses* principales en fer ou en bois (*pl. 34 et suiv.*) — Un cadre ainsi composé ne présenterait pas une rigidité suffisante, mais ses côtés latéraux sont reliés entre eux par les pièces qu'ils supportent, par la boîte à feu, par les cylindres, par les supports du corps cylindrique de la chaudière, et par des *entretoises* appliquées, soit directement entre les longerons, soit à la partie inférieure des plaques de garde. — Chaque longeron porte à ses extrémités de fortes pattes venues de forge, sur lesquelles sont boulonnées les traverses extrêmes. — Dans l'exemple de la planche 35, les longerons sont intérieurs aux roues, et prennent leur point d'appui sur les essieux du côté intérieur des moyeux des roues (*pl. 60 à 64, 67, 75*); le châssis est dit *intérieur*; chaque longeron est formé d'une seule barre de fer forgé de 0^m,03 d'épaisseur, sur 0^m,20 à 0^m,30 de hauteur. — Les *plaques de garde* qui embrassent les boîtes à graisse et qui ont pour fonction de lier invariablement le châssis avec les essieux dans le sens horizontal, sont formées chacune de deux plaques de tôle appliquées de part et d'autre du

longeron et assujetties par deux lignes de rivets ou de boulons; souvent même, elles font corps avec le longeron (pl. 36).

On a fait pendant longtemps un grand usage des *châssis extérieurs* (pl. 54, 57, 72) pour les machines à cylindres intérieurs; les longerons se composaient d'un brancard en bois armé sur ses deux faces latérales de fortes plaques de tôle; ces plaques de tôle portaient des appendices découpés pour former les plaques de garde; les essieux se prolongeaient en dehors des moyeux et se terminaient par des *tourillons* ou *fusées* sur lesquels portait le châssis. — Des longerons intérieurs, allant seulement de la boîte à feu à la boîte à fumée, servaient de guides pour l'essieu moteur et de supports aux autres pièces du mécanisme, qui se trouvaient ainsi liées directement à la chaudière et indirectement au châssis, par l'intermédiaire des supports qui reportaient le poids de la chaudière sur les longerons extérieurs. — Cette disposition a reparu depuis, avec ou sans interposition de bois, dans divers types de machines, et notamment dans celui qui a été adopté par M. C. Polonceau, pour les machines mixtes et à marchandises du chemin de fer d'Orléans: dans ce type (pl. 38), deux longerons extérieurs règnent sur toute la longueur de la machine; un longeron intérieur fixé à la boîte à fumée se prolonge vers la boîte à feu et maintient l'essieu coudé en son milieu; il le maintient au moyen d'une boîte à graisse, sur laquelle repose une partie du poids de la chaudière, par l'intermédiaire d'un ressort calculé de manière à empêcher la flexion de l'essieu coudé sous la charge supportée par les fusées antérieures. — Chacun des trois longerons est formé d'une seule tôle dans laquelle sont découpées les plaques de garde. — Les longerons extérieurs sont rivés à la boîte à fumée, et sont, à l'extrémité d'avant, découpés en enfourchement dans lequel s'engage et s'attache la partie extérieure du cylindre.

Entre ces deux systèmes de châssis vient s'en placer un troisième que l'on peut considérer comme *mixte*, et qui est appliqué aux machines à cylindres extérieurs, dans lesquelles on a voulu charger les roues de support par l'intermédiaire de boîtes à graisse et de fusées extérieures, tout en plaçant les cylindres à l'extérieur du châssis. — L'exemple le plus saillant est fourni par les ma-

chines à voyageurs du chemin de fer de Rouen (pl. 34); la partie intérieure du châssis est composée de deux longerons qui règnent sur toute la longueur de la machine, embrassant la boîte à feu et la boîte à fumée, et se reliant à la traverse d'arrière qui est en bois, et à celle d'avant qui est formée par une feuille de tôle verticale consolidée par des cornières; ces longerons sont rivés sur la boîte à fumée et supportent la boîte à feu au moyen de fers d'angle attachés à celle-ci. — Chaque longeron dans l'intervalle compris entre la boîte à fumée et le foyer est doublé intérieurement d'un brancard en bois et d'une feuille de tôle qui est assemblée au moyen d'équerres sur la boîte à feu extérieure et sur la boîte à fumée. — Ces longerons intérieurs reçoivent des plaques de garde rapportées, et reportent sur les roues motrices la part de charge qui leur correspond. — La partie extérieure du châssis est formée, de chaque côté, d'une feuille de tôle découpée pour recevoir le cylindre, les glissières et la boîte à graisse de la roue d'avant; elle va de l'arrière à 0^m 15 ou 0^m 16 de la traverse d'avant, où elle se relie au longeron intérieur par une tôle verticale et des cornières. — Cette feuille de tôle ou longeron extérieur est doublée à l'avant, sur un tiers environ de sa longueur, par une autre feuille de tôle découpée sur le même gabarit, et qui reçoit avec elles les cylindres et les glissières, et forme la seconde plaque de garde de l'essieu d'avant; l'écartement de ces deux feuilles de tôle est maintenu, par les cornières extrêmes, par des saillies du cylindre (fig. 3 et 4, pl. 17) qui sont prises avec elles par les mêmes boulons, enfin par les glissières en fonte, qui forment une espèce de fourrure. A l'arrière, au delà des roues motrices, le longeron extérieur est relié au longeron intérieur par une plaque de tôle qui est rivée sur des cornières longitudinales et forme le parquet d'entourage.

On trouve un autre exemple de châssis mixte dans les machines Crampton (fig. 1, 2 et 3, pl. 37). — Il se compose de deux châssis complets, l'un intérieur, l'autre extérieur, le premier recevant les boîtes à graisse des roues motrices, dans une entaille venue de forge sur le longeron, l'autre les roues d'avant et celles du milieu; la partie

antérieure du châssis est consolidée par quatre traverses intermédiaires, formées de feuilles de tôle verticales armées de cornières.

On doit éviter, autant que possible, de percer des trous de rivets ou de boulons dans les longerons qui constituent le châssis, afin de ne pas diminuer leur solidité; dans tous les cas ces trous doivent être répartis avec soin, de manière à ne pas déterminer des sections de faible résistance. — Les *pl. 36 et 36 bis* donnent les détails de construction d'un châssis intérieur formé d'une seule pièce de fer, dont les plaques de garde sont venues de forge avec les longerons; cette disposition est imitée de Sharp, qui l'a constamment adoptée avec succès. — On remarque que dans ce châssis la partie antérieure des longerons, qui porte le poids des cylindres en porte-à-faux sur l'essieu d'avant, est beaucoup plus forte que les autres; elle se redresse parallèlement à l'axe des cylindres, qui sont légèrement inclinés. — Les deux longerons sont entretoisés par les traverses extrêmes, par la boîte à fumée et par les cylindres (*fig. 3 et 4, pl. 18*), par la boîte à feu, par les supports de la chaudière et par le support des glissières (*fig. 3, pl. 36*).

La *traverse d'avant* est en bois de chêne de fort équarrissage, de 0^m 30 à 0^m 40 sur 0^m 15 à 0^m 25; quelquefois, elle est en fer forgé ou formée de deux plaques de tôle entretoisées; elle est reliée aux longerons par des pattes venues de forge sur ceux-ci ou par des équerres. — Quelques constructeurs, pour lui donner plus de résistance, lorsque deux machines doivent être attelées ensemble, la relie à la boîte à fumée par une ou deux feuilles de tôle. — Elle est en saillie sur toutes les pièces latérales de la machine pour les préserver contre les obstacles de peu de résistance qu'elles pourraient rencontrer pendant la marche; ces saillies servent, en outre, de point d'appui au parquet ou à la plate-forme qui, dans beaucoup de machines, règne tout autour de la chaudière.

La traverse d'avant porte un *crochet* ou un anneau, avec un bout de *chaîne d'attelage*, fixé au moyen d'un boulon et d'un écrou appuyé sur une large rondelle en tôle (*fig. 2 et 3, pl. 34*). Elle porte, en outre, deux *tampons de choc* à ressort, ou plus généralement

en caoutchouc vulcanisé. — L'axe des tampons correspond exactement, par sa position, à celui des tampons des voitures; la hauteur au-dessus du rail varie de 0^m 95 à 1^m 05; l'écartement d'axe en axe varie de 1^m 70 à 1^m 80. — Dans les machines à châssis intérieur les tampons sont en porte-à-faux sur les longerons, et lorsque la machine donne ou reçoit un choc, ou, comme on dit habituellement, un *coup de tampon*, il arrive généralement que la traverse se casse et que les pattes des longerons sont brisées, quelquefois même les cylindres sont endommagés lorsqu'ils sont extérieurs; il y a un avantage évident à augmenter la résistance transversale de la traverse, en la moisant horizontalement avec des feuilles de tôle d'une certaine épaisseur. — Cette dernière précaution est fréquemment adoptée.

Lorsqu'on visite les pistons, opération très-fréquente, il faut, dans presque toutes les machines, démonter et enlever la traverse d'avant, qui, armée de ses tampons, est très-lourde et d'une manœuvre difficile. — Pour simplifier le travail des ouvriers on peut fixer la traverse au bâti au moyen de charnières, ou bien prolonger, jusqu'à la boîte à fumée, la tige du crochet d'attelage et en faire un axe autour duquel la traverse peut tourner lorsqu'on a enlevé les boulons qui l'attachent aux longerons: par l'un ou l'autre de ces moyens on démasque facilement les cylindres.

La traverse d'arrière est de même en fer ou en bois; elle porte des *chaînes de sûreté* qui servent à tenir le tender relié avec la machine en cas de rupture de la barre d'attelage, ou bien des anneaux qui reçoivent les crochets de chaînes de sûreté, si celles-ci sont attachées au tender; — elle sert de point d'appui à des tampons en bois placés sur le tender, et qui servent à combattre la tendance de la machine au mouvement de lacet, lorsque la barre d'attelage agit sur un ressort; — comme elle n'a pas d'efforts très-considérables à supporter, on se contente de lui donner, lorsqu'elle est en bois, 0^m 20 à 0^m 25 d'équarrissage.

2^o SUPPORTS DE LA CHAUDIÈRE ET DES PIÈCES DU MÉCANISME. — Nous avons dit que le châssis supportait le poids de la chaudière et des pièces du mécanisme pour le reporter sur les roues; les

supports ou *attaches* de la chaudière affectent des formes diverses qui varient suivant les dispositions de la machine et les habitudes des constructeurs. — Pendant longtemps on n'a pas tenu compte de la dilatation des chaudières, dilatation qui est cependant très-sensible et qui peut atteindre la limite de 0^m 007 à 0^m 008; les longerons intérieurs du châssis étaient rivés ou boulonnés sur la boîte à feu extérieure comme sur la boîte à fumée; il en résultait, entre autres inconvénients, des fuites aux points d'attache, des ruptures d'attaches, des gauchissements et des perturbations dans le montage; les supports qui reportaient le poids de la chaudière sur les longerons extérieurs, lorsque le châssis était extérieur, tendaient à le déverser et à le faire fouetter. — Ces effets sont devenus plus sensibles lorsque la longueur des chaudières s'est accrue dans une proportion considérable; aussi est-on arrivé généralement à faire disparaître la rigidité de l'assemblage de la chaudière avec le châssis, dans le sens longitudinal. — Les longerons sont invariablement liés avec la boîte à fumée et avec les cylindres, mais les autres attaches sont disposées de telle sorte que la chaudière puisse se dilater et se contracter dans le sens longitudinal; il a suffi pour cela d'ovaliser, d'une quantité égale à la dilatation de la chaudière en chaque point, les trous de boulons qui servaient à rattacher les supports aux longerons; — mais en même temps il a fallu intercaler, entre les têtes et les écrous des boulons, des patins qui permettent de serrer à fond, sans que le frottement devint un obstacle au mouvement, et qui présentassent des parties dressées par l'intermédiaire desquelles les longerons pussent recevoir les charges qu'ils doivent supporter; en d'autres termes, il a fallu disposer une coulisse qui servit de support intermédiaire et qui glissât librement sur le longeron.

Les supports devraient être, en principe, placés au droit des esieux, mais les roues dont le diamètre est souvent supérieur à la hauteur du châssis, les ressorts, etc., gênent pour cela, et l'on doit se contenter de les rapprocher autant que possible. — Ils sont souvent composés de feuilles de tôle épaisse, placées de champ, fixées à la chaudière, et assujetties ou simplement appuyées sur les longerons du châssis par l'intermédiaire de cornières; dans les anciennes

machines où les longerons étaient en bois et tôle, tous les supports étaient en fer forgé; dans les machines actuelles, où les longerons sont formés d'une seule plate-bande en fer, les supports sont en tôle avec cornières (*fig.* 5 et 6, 12 et 13, *pl.* 39; *pl.* 70 et 71). — On se sert également de supports en fer forgé, rivés sur la chaudière et boulonnés sur les longerons (*fig.* 3 et 4, et 7, 8, 10 et 11, *pl.* 39).

Lorsque les longerons sont extérieurs, les supports de la boîte à feu et ceux de la boîte à fumée ne diffèrent que par leurs dimensions de ceux que nous avons décrits; lorsqu'ils sont, au contraire, intérieurs, les parois de la boîte à fumée sont prises par les boulons qui attachent les cylindres (*fig.* 5 et 6, *pl.* 18), ou sont soutenues au moyen d'un système de doubles cornières (*fig.* 3 et 4, *pl.* 17). — La boîte à feu extérieure porte des oreilles formées par des appendices ménagés sur les tôles des deux parois adjacentes et juxtaposées; on rive sur ces oreilles des agrafes en fer qui viennent s'appuyer par un talon sur la tranche supérieure du longeron, et qui sont réunies avec lui par des boulons qui traversent les quatre épaisseurs de métal; ce sont les trous de ces boulons dans le longeron qu'il importe surtout d'ovaliser pour faciliter le jeu de la dilatation (*fig.* 9, *pl.* 39). — Il est nécessaire que tous ces supports soient bien ajustés et bien montés pour que chaque partie de la chaudière soit soutenue pour son propre compte, et pour éviter, par suite, des tiraillements à la jonction du corps cylindrique et de la boîte à feu extérieure.

Nous avons déjà indiqué une disposition spéciale de support placé en dessous de la chaudière, pour laquelle on utilise le support des glissières; nous signalerons encore la disposition de la *fig.* 3, *pl.* 34, dans laquelle les supports du corps cylindrique s'appuient sur les longerons extérieurs et sur les longerons intérieurs, qu'ils relient à la chaudière et au châssis.

Dans les anciennes machines, les cylindres étaient pris, au moyen de deux collets, entre les tôles, formant les parois antérieure et postérieure de la boîte à fumée (*fig.* 2, *pl.* 17); maintenant on les fixe aux longerons du châssis. On fait venir à la fonte, avec le cy-

lindre et sur toute sa longueur, une sorte d'agrafe consolidée par de fortes nervures; elle porte un talon qui s'appuie sur le longeron sur lequel elle est fortement boulonnée (fig. 5 et 6, 7 et 8, pl. 17). Cette disposition se modifie avec la forme générale de la machine; la fig. 2, pl. 38 représente un mode de construction dans lequel le longeron s'ouvre pour donner passage à la boîte du tiroir et pour saisir les agrafes des cylindres de part et d'autre de son axe; la fig. 3, pl. 18, montre un autre système de construction également très-solide.—Lorsque le bâtis est extérieur ou mixte, on a recours à d'autres dispositions dont on trouve des exemples dans les fig. 3 et 4, pl. 17; fig. 5 et 6, pl. 18.; fig. 1 et 2, pl. 19.

Lorsque les cylindres sont intérieurs, ils s'appuient l'un sur l'autre et peuvent être, en outre, consolidés par des appendices de la boîte à fumée; lorsqu'ils sont extérieurs, on les réunit à la partie inférieure par deux fortes entretoises qui ont pour objet de maintenir l'écartement, et de détruire l'effet du porte-à-faux sur les attaches. Dans ce dernier cas, il convient, comme l'ont fait quelques constructeurs, de compléter cet assemblage en embrassant les deux cylindres par la plaque d'avant de la boîte à fumée que l'on fait en forte tôle, ou de placer au-dessous de la boîte à fumée une sorte de coffre qui les entretoise complètement.

Les pompes à plongeur, mues par la coquille du piston, et dans quelques cas, les pompes commandées par l'excentrique de la marche en arrière, les supports des glissières, les paliers des arbres de relevage, s'attachent également sur le châssis au moyen de boulons; nous pensons qu'il suffit de renvoyer aux figures qui accompagnent la description de ces pièces, sans entrer dans des détails plus circonstanciés.

3^o ACCESSOIRES DU CHÂSSIS. — Le *chasse-pierres* est une barre de fer de forte section, disposée à l'avant de la machine et descendant à quelques centimètres au-dessus du rail; elle sert à écarter les obstacles que la négligence des garde-lignes aurait laissé déposer sur les voies ou que la malveillance y aurait placés, comme

une pierre, une pièce de bois, etc.—Les chasse-pierres sont attachés à la traverse d'avant, ou sur les parois de la boîte à fumée lorsqu'elle descend au-dessous des cylindres, quelquefois sur les longerons intérieurs. — Pour les consolider, on les soutient à l'arrière par une barre de fer qui vient s'appuyer sur le châssis ou sur les plaques de garde des roues d'avant (fig. 1, pl. 35 et 36). — Quelquefois on les place en arrière de la traverse et on les relie à celle-ci par un *tirant* qui remplace l'*arc-boutant*. Cette disposition est plus solide, mais elle n'est pas toujours applicable. — Les chasse-pierres doivent rester à environ 0^m 05 au-dessus des rails, car il ne faut pas que, dans le jeu des ressorts occasionnés par les inégalités de la voie, ou après la mise des bandages sur le tour, ils puissent venir butter contre les rails. — Souvent on réunit les deux chasse-pierres entre eux par une forte entretoise, pour les empêcher de céder latéralement lorsqu'ils rencontrent un obstacle.

Les *marche-pieds* servent à monter sur la plate-forme; ils sont fixés à l'extrémité de la traverse d'arrière lorsqu'elle est en bois, ou sur le longeron; ils comprennent deux marches, dont la première ne doit pas être à plus de 0^m 50 au-dessus du sol; cette marche doit être en tôle striée ou piquée, et porter un talon pour que le pied ne glisse pas. — La seconde marche doit être disposée comme la première (fig. 37, pl. 60 et suiv.) Quelques constructeurs se sont dispensés, à tort, de mettre des marche-pieds aux machines, se contentant de ceux qui sont adaptés au tender; il arrive cependant assez fréquemment qu'il est nécessaire de monter sur la machine, quand elle est séparée de son tender; il arrive même quelquefois qu'une machine ainsi séparée se met en marche, lorsque le régulateur fuit; il est donc nécessaire que l'on puisse monter facilement sur la plate-forme pour l'arrêter et prévenir de très-graves accidents.

La *plate-forme* règne sur l'arrière de la machine, sur environ 1^m de longueur et sur une largeur de 2^m; lorsque le châssis est droit, elle règne tout autour de la chaudière, afin que le mécanicien et le chauffeur puissent circuler facilement pendant la marche pour

surveiller, graisser le mécanisme, etc. La *plate-forme* proprement dite repose sur les longerons et sur la traverse d'arrière; l'appendice qui entoure la chaudière porte sur les longerons intérieurs et extérieurs, lorsque le châssis est mixte, ou sur des équerres fixées aux longerons lorsqu'ils sont intérieurs; on lui donne de la roideur par une cornière longitudinale fixée sur son bord, d'une traverse à l'autre.—La tôle de la plate-forme a environ 0^m 004 d'épaisseur.

Le *garde-corps* est nécessaire pour la sécurité du mécanicien et des personnes qui montent sur la machine; il entoure la plate-forme et ses appendices latéraux jusque vers la naissance du corps cylindrique.—Il se compose d'une balustrade formée de montants boulonnés sur la plate-forme, et d'une main courante placée à hauteur d'appui; on garnit généralement cette balustrade de feuilles de tôle pour préserver le mécanicien de l'action du vent; ces tôles sont assujetties par des cornières sur la plate-forme et sur la rampe. Souvent on se contente de disposer une tôle un peu forte qu'on attache à la chaudière et dont la rigidité suffit.

La machine ordinaire est réunie au tender par une *barre d'attelage* et par un *boulon d'attelage*. La barre d'attelage est une simple barre de fer terminée par deux trous ronds dans lesquels passent les boulons d'attelage de la machine et du tender, ou (*fig. 5 et 6, pl. 49*) une vis à filets inverses dont chaque moitié s'engage dans un écrou armé d'un étrier qui est fixé à la machine d'un côté, de l'autre au tender; dans ce dernier cas et quelquefois aussi dans le premier, la barre d'attelage est appliquée sur la chappe d'un ressort attaché sous la plate-forme de la machine ou sous le tablier du tender; l'un des boulons d'attelage est remplacé par un simple crochet, lorsque l'attelage se fait au moyen d'une vis. Lorsqu'il y a un *ressort de traction* placé sous la plate-forme de la machine, il s'appuie par ses extrémités sur deux fortes équerres rivées ou boulonnées sur les longerons intérieurs et sur la traverse (*fig. 3, pl. 34*), ou sur deux faux longerons fixés sur la plate-forme et sur un tablier inférieur. Lorsque l'extrémité de la barre d'attelage qui correspond à la machine est simplement fixée par un boulon, sans l'intermédiaire d'un ressort, ce boulon passe dans deux

douilles en fer aciéré et trempé, fixées sur deux fortes plaques de tôle rivées sur la chaudière et sur les pattes auxquelles s'attachent les longerons; la tôle inférieure se recourbe vers le bas pour faciliter l'entrée de la barre d'attelage, puis elle est reliée à la tôle supérieure par deux autres tôles verticales qui consolident l'assemblage et qui servent également à guider la barre d'attelage (*fig. 1, pl. 5*). Cette disposition a l'inconvénient de fatiguer les rivets fixés sur la chaudière et d'occasionner des fuites; on a cherché à y remédier en attachant seulement aux longerons du châssis les deux tôles sur lesquelles s'exerce l'effort de traction et qui sont indépendants de la plate-forme (*fig. 1, pl. 6*). Le boulon d'attelage est en fer aciéré et trempé de 0^m 05 à 0^m 06 de diamètre; il porte une embase qui le fait reposer sur la douille supérieure, et un anneau qui sert à l'enlever et à le mettre en place avec facilité. Les deux extrémités de la barre d'attelage sont également en fer aciéré et trempé. Nous reviendrons, du reste, sur la question de l'attelage en parlant du tender.

§ 2. — Suspension.

Le système de suspension de la machine sur les roues comprend les *boîtes à graisse* qui reposent sur les *fusées* ou *tourillons* des essieux, les *plaques de garde* qui servent d'intermédiaire entre les boîtes à graisse et le châssis, et dont nous avons eu déjà l'occasion de dire quelques mots, enfin les *ressorts* qui rendent la suspension élastique.

1^o PLAQUES DE GARDE. — On donne ce nom à des appendices dépendant des longerons venus de forge avec eux ou découpés dans la même feuille de tôle, ou enfin rapportés au moyen de rivets ou de boulons. Dans le premier cas, les plaques de garde sont doubles ou simples suivant que le longeron est lui-même double ou simple (*fig. 2 et 3, pl. 34; fig. 1, 2 et 3, pl. 36; fig. 2, pl. 37*); dans le dernier cas, elles sont doubles, sauf quelquefois, pour la roue d'arrière, lorsqu'elle n'a qu'une charge insignifiante

à supporter. L'épaisseur des plaques rapportées varie de 0^m 010 à 0^m 015.

Les plaques de garde ont pour objet de guider le châssis sur les boîtes à graisse lorsqu'il oscille de haut en bas par suite de la flexion des ressorts; elles établissent la liaison des essieux et des roues avec la machine entière. Celles des roues motrices entraînent le châssis et sont l'intermédiaire qui transforme le mouvement de rotation de l'essieu en mouvement de translation pour la machine entière; celles des roues de support servent, au contraire, à les entraîner dans le mouvement de translation général; elles maintiennent, en outre, le parallélisme des essieux. Il est donc nécessaire qu'elles soient très-solides et très-solidement attachées. Toutes les fois que la forme des châssis et les dispositions d'ensemble de la machine obligent à donner à ces appendices une assez grande longueur, on les consolide par des entretoises longitudinales; on les consolide également par des entretoises transversales, lorsqu'elles sont à l'intérieur des roues (*fig. 1, 2, 3 et 4, pl. 35; fig. 1 et 2, pl. 36, 37 et 38*); quelquefois même on rattache celles des roues extrêmes au châssis au moyen de tirants obliques. Les deux branches d'une même plaque de garde sont toujours reliées entre elles par une entretoise qui sert d'appui à l'entretoise transversale, et qui est commune aux deux plaques accolées, lorsque le longeron est formé d'une seule pièce de fer.

2° **BOTTES A GRAISSE.** — Les boîtes à graisse affectent la forme d'un anneau qui enveloppe la fusée de l'essieu lorsque le châssis est intérieur, et celle d'une boîte fermée sur cinq de ses faces, lorsque le châssis est extérieur et que la fusée forme l'extrémité de l'essieu; elles servent à transmettre le poids de la machine aux essieux et roues qui les supportent; elles servent, comme intermédiaires entre l'essieu et les plaques de garde, à transformer le mouvement de roulement de l'un en mouvement de translation de l'autre, et *vice versa*. Elles portent un réservoir qui sert de récep-

taclé à l'huile ou à la graisse qui doit lubrifier la fusée de l'essieu pendant le mouvement.

Une boîte à graisse se compose : de la *botte* proprement dite, du *dessus de botte* et du *coussinet*; nous y rattacherons les guides, sortes de glissières qui sont interposées entre la boîte à graisse et la plaque de garde.

La boîte proprement dite est en fer forgé ou en fonte; elle porte à la partie supérieure une cavité qui reçoit l'huile, substance employée habituellement pour le graissage des essieux de machines; cette cavité communique par deux *lumières* de 0^m 004 à 0^m 005 de diamètre, avec des trous semblables percés dans le coussinet, et donne accès à l'huile sur la fusée de l'essieu; l'orifice de ces trous est plus élevé que le fond du réservoir, et l'on y introduit des mèches de coton qui forment siphons. Lorsqu'on emploie de la graisse au lieu d'huile, on fait aboutir les lumières au fond du réservoir. Ce réservoir est fermé à sa partie supérieure par un *covercle* à charnière ou à coulisse qui empêche le sable et la poussière d'y pénétrer pendant la marche. Lorsque la boîte est en fer ou en fonte, le coussinet est rapporté; quelquefois la boîte est en bronze et forme elle-même coussinet. On ménage à la partie supérieure de la boîte un mamelon autour duquel le réservoir à graisse forme une rigole, ou une épaisseur longitudinale qui partage le réservoir en deux parties indépendantes l'une de l'autre, pour faire reposer la tige du ressort de suspension, qui est tantôt cylindrique, tantôt formée de deux barres plates réunies par un talon commun. Lorsque la boîte porte sur une fusée extérieure, elle est fermée à la partie antérieure par une cloison venue à la fonte avec le reste et présentant une cavité dans laquelle peut tourner librement le renflement que la fusée porte à son extrémité. Les *fig. 1 et 2, 3, 4 et 5, 9, 10 et 11, 12 et 13, pl. 40; fig. 3 et 4, 5 et 6, 9 et 10, pl. 41; fig. 1, 2, 3 et 4, pl. 42*, représentent les différentes formes des boîtes à graisse le plus généralement employées; la boîte proprement dite se confond avec le coussinet, lorsqu'elle est en bronze, mais il y a toujours un *dessus de boîte* distinct,

Le dessous de boîte est en bronze lorsque la boîte est elle-même en bronze; mais dans tous les autres cas il est en fonte; tantôt il affecte la forme du coussinet et enveloppe la demi-circumference inférieure de la fusée sans la toucher, tantôt il affecte la forme d'une cuvette; lorsque la cuvette est assez profonde, on y place une éponge destinée à recevoir les gouttes d'huile qui s'échappent entre le coussinet et la fusée, et qui sert à lubrifier la fusée lorsque le réservoir vient à se vider en route. Le dessous de boîte est attaché à la boîte par un ou deux goujons qui sont retenus à leurs extrémités par les guides des plaques de garde; quelquefois on a brisé le goujon au milieu en réunissant les deux parties, au moyen d'un boulon, dans une chape placée sous le milieu du dessous de boîte (fig. 9 et 10, pl. 40), pour permettre de le démonter sans lever la machine et sans sortir la boîte à graisse de ses guides.

Le coussinet est en bronze; on a renoncé généralement, en France, aux divers alliages qui ont été essayés dans un but d'économie; les compositions de bronze que l'expérience a consacrées oscillent autour des proportions de 82 de cuivre et 18 d'étain, avec 1 à 3 p. 0/0 de zinc.

Lorsque ce n'est pas la boîte elle-même qui forme le coussinet, celui-ci est exactement ajusté sur la boîte en fonte; il est percé de lumières correspondant à celles du réservoir à huile, et des sillons ou *pattes d'araignée* sont tracés sur la surface pour bien répartir la matière lubrifiante.

Le coussinet ne dépasse jamais par ses bords inférieurs le niveau de l'axe de l'essieu, et lorsqu'il atteint cette limite, il doit présenter un peu d'*entrée*, car, lorsque la fusée s'échauffe et se dilate, elle pourrait se trouver pincée entre les deux bords du coussinet; elle s'échaufferait et gripperait au lieu de rester tiède. Le coussinet est fixé sur la boîte au moyen de collets ou jous qui l'emboîtent de chaque côté, ou bien au moyen d'un teton pénétrant dans le mamelon qui supporte la tige du ressort; il est, du reste, taillé extérieurement en forme de prisme à base octogonale ou à base carrée, ce qui l'empêche de se déverser et de tourner

dans la boîte; la forme rectangulaire donne plus de force aux parties latérales et les empêche de *pincer* lorsque l'ajustage est mal fait, mais elle est un peu plus coûteuse à raison de la quantité de métal employé; la forme octogonale laisse, en outre, peu de surface pour l'application de la charge à transmettre à l'essieu, et le métal peut s'écraser s'il est trop ductile. Les coussinets portent, par la tranche, sur chacun des collets qui terminent la fusée; pour les empêcher de s'échauffer et de gripper, on donne à la surface de contact un rayon un peu plus petit que celui du congé qui raccorde le collet avec la fusée, de telle sorte que le coussinet prenant exactement la fusée, il y ait un peu de jeu entre ses extrémités et les collets entre lesquels il pourrait se trouver pincé par l'effet de la dilatation; quelques constructeurs regardent cette disposition comme vicieuse, parce qu'elle tend à faire monter le coussinet sur les collets de la fusée; ils aiment mieux donner aux deux surfaces la même courbure, en donnant aux coussinets 0^m 001 de jeu. Il convient, dans tous les cas, que les collets de la fusée et le coussinet aient une large surface plane de contact sur 0^m 020 de hauteur au moins.

La seule différence qui existe entre les boîtes à graisse des roues motrices et celles des roues de support consiste dans les dimensions: épaisseur des coussinets et de la boîte, diamètre et longueur des coussinets. Lorsque le châssis est intérieur, la visite et le remplissage des boîtes à graisse sont toujours fort difficiles; c'est un des motifs qui militent en faveur des châssis extérieurs et des roues à petits moyeux en fer forgé, dans le cas des châssis intérieurs; ces opérations ne sont commodes que dans la machine Crampton où les boîtes à graisse de l'essieu moteur sont placées sous la plate-forme et sous la main du mécanicien.

Quelques constructeurs ajustent la boîte à graisse dans la surface latérale des guides, de manière à ne laisser en contact dans la hauteur que 0^m 05 au-dessus et autant au-dessous de l'axe de l'essieu. Le reste de la surface dans la hauteur de la boîte à graisse est arrondi suivant un arc dont le rayon est de 1^m 50. Cette disposition a pour but de permettre aux boîtes à graisse de suivre les inégalités de la voie sans gripper dans les guides.

Les guides des boîtes à graisse (*fig. 1, 2, 3 et 4, pl. 42*) sont fixés aux plaques de garde, au moyen de rivets ou de boulons, et ajustés sur les faces latérales des boîtes à graisse; ils doivent être appliqués exactement contre la boîte à graisse, pour qu'il n'y ait pas de jeu latéral, et parfaitement dressés sur la surface de contact pour que le châssis puisse osciller librement dans le sens vertical. Ils portent une saillie qui est prise exactement entre les deux plaques de garde au moyen de boulons, ou qui est rivée sur la plaque de garde lorsqu'elle est simple. Les guides, et particulièrement ceux des roues motrices, qui ont une grande fatigue à supporter, doivent avoir avec la boîte à graisse une surface de contact aussi large que possible, sans que les saillies latérales que celle-ci porte cessent de présenter une résistance suffisante au déplacement latéral. Ces saillies doivent avoir chacune environ 0^m 025 d'épaisseur; il convient de plus de leur donner une assez grande saillie sur la boîte, en donnant à cette saillie sa dimension maxima vers le point qui correspond à l'axe de l'essieu, afin d'en faire une nervure de consolidation. Quelquefois ce sont les guides eux-mêmes qui portent des saillies et qui embrassent la boîte à graisse (*fig. 12, 13 et 14, pl. 40*); d'autres fois les plaques de garde, lorsqu'elles sont doubles, embrassent la boîte à graisse et tiennent lieu de ces saillies. Les guides des boîtes à graisse de roues motrices doivent être en fer cimenté et trempé, afin qu'ils puissent résister aux efforts qu'ils ont à supporter et aux chocs qui se produisent dès qu'il y a un peu de jeu latéral; cependant quelques constructeurs, en leur donnant une épaisseur suffisante, ne craignent pas de les faire en fonte. Ceux des roues de support sont le plus souvent en fonte. Les guides des roues de support des machines Crampton (*fig. 7 et 8, pl. 41*) affectent la forme d'équerres boulonnées sur la plaque de garde.

Pour éviter le claquement des boîtes de roues motrices dans leurs guides, les ruptures qui en sont ordinairement la conséquence et les réparations fréquentes toujours plus ou moins coûteuses, on fait usage de *clefs de serrage* ou coins intercalés entre l'une des faces de la boîte à graisse et le guide correspondant (*fig. 3, 4 et 5,*

pl. 40); la clef de serrage porte une vis de rappel qui prend son point d'appui sur une pièce fixée, comme les guides, sur les plaques de garde; deux écrous, retenus par deux petites lames de tôle qui embrassent leur tête, servent à régler le serrage. Dans la disposition représentée par les *fig. 1 et 2, pl. 41*, la clef de serrage est soudée avec une tige carrée qui glisse dans une rainure tracée sur la surface du guide et qui assure la solidarité des deux pièces dans le sens latéral; cette tige est filetée à sa partie supérieure et prend son point d'appui sur une traverse embrassée par deux écrous; la clef de serrage est en outre assujettie au moyen de deux boulons horizontaux, qui passent à travers deux rainures verticales percées dans le guide, et qui les maintiennent contre celui-ci. Cette dernière disposition paraît un peu compliquée et moins avantageuse que la première; elle n'est pas du reste d'une application aussi générale. Lorsque les boîtes à graisse ont des joues assez larges on peut se contenter de donner à la clef de serrage une largeur égale à celle du guide de boîte à graisse, et de la placer sans aucune rainure ni boulon, les joues de la boîte à graisse suffisant pour la maintenir.

Lorsque l'essieu moteur reçoit quatre boîtes à graisse, qui supportent chacune une partie de la charge, soit même lorsque les deux boîtes intérieures sont destinées seulement à servir de guides à l'essieu moteur, il est nécessaire de mettre deux clefs de serrage à chacune des deux boîtes intermédiaires, afin de faire coïncider exactement les axes des quatre boîtes avec celui de l'essieu. On n'en met qu'une aux boîtes à graisse extrêmes pour que le mécanicien ne puisse jamais dérégler sa machine. Les clefs de serrage doivent être toujours disposées la tête en bas pour qu'elles ne viennent pas caler la roue dans le cas où la vis de rappel se desserrerait.

Les *fig. 6, 7 et 8, pl. 40*, présentent un exemple de cette disposition; nous ferons remarquer du reste qu'elle indique aussi un système tout particulier de coussinets appliqués aux boîtes à graisse intermédiaires de l'essieu coudé (*fig. 1 et 2, pl. 26*); ainsi qu'on peut le voir, les supports des clefs de serrage sont assujettis sur les guides mêmes.

3^o Ressorts. — Un ressort se compose des bandes ou feuilles d'acier; de la *bride* qui embrasse les *feuilles* et qui les maintient réunies; de la *tige* qui lui sert de support sur la boîte à graisse, et des *boulons de suspension*.

La forme théorique du *ressort* est celle d'un solide d'égale résistance encastré par ses deux extrémités; c'est en effet celle dont on cherche à se rapprocher dans la pratique, seulement on exagère ses dimensions aux extrémités, principalement dans le cas où les feuilles sont traversées par les *boulons de suspension*, pour lui donner plus de solidité aux points où s'attachent les brides et boulons de suspension (fig. 5, 9, 11 et 13, pl. 42). Les *feuilles* ou *lames* doivent être en acier fondu de première qualité. Le nombre des lames varie selon la longueur du ressort, la charge à supporter et l'épaisseur des feuilles; toutes les feuilles ont une épaisseur uniforme; cette épaisseur varie de 10 à 12 millimètres, rarement elle va à 15 millimètres. La *force* des ressorts, ou la charge qu'ils peuvent supporter pour arriver à une flexion donnée, doit varier avec la charge que les essieux ont à supporter. Leur *élasticité* ou la quantité dont ils fléchissent pour une augmentation déterminée de charge, ou par l'effet d'un choc déterminé, doit être suffisante, pour que les inégalités de la voie ne manifestent pas leur action par des chocs durs, nuisibles à la conservation du mécanisme et pas dépasser une limite assez restreinte, car des oscillations d'une trop grande amplitude pourraient faire fausser certaines pièces, notamment les bielles motrices, et les barres et colliers d'excentriques, qui dépendent, par une extrémité, de l'essieu qui suit le profil des rails, et par l'autre, du châssis qui oscille sous l'action des ressorts. Les ressorts doivent être combinés, en raison de la charge qu'ils doivent porter, de leur longueur, de la nature de l'acier employé et de l'épaisseur adoptée pour les feuilles, de telle sorte que l'*amplitude* totale de leurs oscillations sous charge ne dépasse pas habituellement 0^m 02 à 0^m 03 et n'atteigne pas la limite de 0^m 05. Les éléments que le constructeur peut faire varier pour arriver à ce résultat sont le nombre et l'épaisseur des feuilles, et leur courbure ou la flèche de fabrication. La

forme la plus convenable pour donner au ressort toute la *sensibilité* dont il est susceptible, c'est-à-dire la plus grande aptitude à entrer en jeu dès qu'un choc est transmis aux roues, paraît être la forme presque horizontale sous charge, car le mouvement relatif des feuilles est nul au point de départ de l'oscillation, et c'est le frottement surtout qui tend à rendre les ressorts insensibles; quoique l'intérêt de cette question soit assez restreint, elle mérite d'appeler l'attention des constructeurs.

Nous renvoyons, pour l'étude de la théorie des ressorts, au mémoire de M. Philipps, ingénieur des mines, et à celui de M. Bourinque, qui en est l'abrégé, nous contentant de donner à titre d'exemple la dimension des ressorts employés pour diverses machines du chemin de fer d'Orléans.

Dimensions des ressorts de suspension

DÉSIGNATION des MACHINES.	INDICATION de L'ESSIC.	CHARGE sur le RESSORT.	LOISIER détre- loppée de centre en centre.	
			k.	m.
Machines à voyageurs.....	Avant.....	5,000	0,760	
	Milieu.....	5,000	0,760	
	Arrière.....	1,500	0,760	
	Traction.....	"	1,100	
Machines mixtes.....	Avant.....	4,500	0,940	
	Milieu.....	3,500	0,940	
	Arrière.....	2,200	0,760	
	Intérieur.....	1,500	0,810	
Machines mixtes.....	Traction.....	"	0,870	
	Avant.....	5,500	0,940	
	Milieu.....	4,500	0,940	
	Arrière.....	5,500	0,940	
Machines à marchandises.....	Intérieur.....	1,500	0,810	
	Traction.....	"	0,870	
	Avant.....	4,500	0,940	
	Milieu.....	4,500	0,940	
Machines tenders.....	Arrière.....	4,500	0,940	
	Intérieur.....	1,500	0,810	
	Traction.....	"	0,870	
	Avant.....	5,000	0,760	
	Milieu.....	7,700	1,220	
	Arrière.....			
	Traction.....	"	0,870	

employés sur quelques machines locomotives.

LARGEUR.	ÉPAISSEUR des FEUILLES.	NOMBRE de FEUILLES.	FLEXIBILITÉ par TONNE.	FLÈCHE		NATURE de L'ACIER.
				de fabrication.	sous charge.	
m.	m.			m.	m.	
0,090	0,010	14	0,0065	0,075	0,0325	Acier fondu.
0,090	0,010	12	0,0077	0,075	0,0465	Idem.
0,090	0,010	6	0,0120	0,075	0,0304	Idem.
0,075	0,010	12	0,0270	0,075	"	Idem.
0,090	0,012	12	0,0085	0,075	0,0377	Idem.
0,090	0,012	10	0,0100	0,075	0,0350	Idem.
0,090	0,010	6	0,0150	0,075	0,0420	Idem.
0,075	0,010	5	0,0260	0,075	0,0360	Idem.
0,075	0,010	12	0,0156	0,075	"	Idem.
0,090	0,012	15	0,0077	0,075	0,0527	Idem.
0,090	0,012	11	0,0092	0,075	0,0556	Idem.
0,090	0,012	15	0,0077	0,075	0,0527	Idem.
0,075	0,010	5	0,0260	0,075	0,0560	Idem.
0,075	0,010	12	0,0156	0,075	"	Idem.
0,090	0,012	12	0,0085	0,075	0,0377	Idem.
0,090	0,012	10	0,0100	0,075	0,0500	Idem.
0,090	0,012	12	0,0085	0,075	0,0377	Idem.
0,075	0,010	5	0,0260	0,075	0,0560	Idem.
0,075	0,010	12	0,0156	0,075	"	Idem.
0,090	0,010	10	0,0091	0,070	0,0516	Idem.
0,090	0,015	14	0,0079	0,121	0,0642	Idem.
0,075	0,010	12	0,0156	0,075	"	Idem.

La *bride* du ressort, ou la *chape*, est un cadre en fer forgé de 0^m 010 à 0^m 015 d'épaisseur sur 0^m 07 à 0^m 09 de largeur, qui saisit le ressort à son milieu, et maintient l'assemblage des feuilles d'acier, indépendamment du boulon qui les traverse ; elle est posée à chaud. Le ressort se place quelquefois au-dessous de la boîte à graisse, à laquelle il s'attache au moyen d'un boulon ; sa bride porte alors un ou deux appendices percés d'un trou en forme d'anneau, pour recevoir ce boulon (*fig. 11 et 12, pl. 42*). Le plus souvent le ressort est au-dessus de la boîte à graisse, et au-dessus du châssis ; lorsque le châssis est extérieur formé d'un longeron en bois garni de deux feuilles de tôle, la bride du ressort repose sur une tige cylindrique indépendante, qui traverse le longeron et va s'appuyer sur la boîte à graisse (*fig. 9, pl. 42*) ; la tige se réduit à un simple teton, très-peu saillant, lorsque le ressort est intercalé entre le longeron et la boîte à graisse. Lorsque le châssis est intérieur et que le longeron ne présente qu'une seule épaisseur de fer, la tige est formée de deux barres de fer parallèles qui embrassent le longeron et qui viennent s'appuyer par leur extrémité supérieure sur la bride du ressort (*fig. 9, pl. 42*) ; ces deux tiges, maintenues sur les faces latérales du longeron par des guides en fer, se terminent par un talon commun qui repose dans une cavité ménagée à cet effet sur la boîte à graisse (*fig. 1, 2 et 3, pl. 42*). Lorsque le châssis est intérieur, on ne peut ménager à la fusée et au coussinet une longueur convenable qu'en leur donnant plus de saillie à l'intérieur qu'à l'extérieur du longeron ; la tige du ressort s'appuie donc dans ce cas sur l'une des moitiés de la boîte à graisse plus que sur l'autre ; c'est pour remédier à cet inconvénient que certains constructeurs ont donné au talon de la tige une saillie sur l'un de ses côtés, du côté intérieur, comme l'indique la *fig. 6, pl. 42* ; mais cette addition n'a aucune utilité, car elle ne peut pas faire que la pression de la tige s'applique ailleurs qu'aux points sur lesquels les deux branches s'appuient ; il faudrait dévier l'extrémité de la tige et emprunter aux guides fixés sur le longeron une grande résistance latérale pour reporter la charge sur le milieu de la boîte à graisse.

Les *fig. 13 et 14, pl. 42*, représentent une disposition qui pourra, dans beaucoup de cas, être appliquée avantageusement : les deux roues d'arrière ont un ressort commun qui appuie ses deux extrémités sur les boîtes à graisse par l'intermédiaire d'une barre en fer qui relie les deux boîtes, et dont la bride reçoit le poids du châssis au moyen d'un boulon fixé sur deux flasques en tôles rivées sur les longerons, et d'un étrier qui embrasse le ressort pour lui donner un point fixe d'oscillation à l'endroit où il s'assemble avec la bride ; de telle sorte que la machine peut éprouver des oscillations latérales, ou que l'essieu peut s'incliner tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, sans que le ressort cesse de supporter toute la portion de la charge qui lui est affectée. Cette disposition a seulement pour inconvénient de diminuer la capacité du réservoir à huile et de le rendre moins facilement accessible.

La forme la plus simple des *boulons de suspension* est celle que représente la *fig. 6, pl. 42*. Les extrémités du ressort sont percées de trous dans lesquels passent librement les extrémités filettées des boulons, qui reçoivent un double écrou, au moyen duquel on peut régler la charge ; l'extrémité inférieure des boulons porte un étrier qui embrasse le longeron et qui est réuni avec lui par un boulon transversal. Cette disposition a l'inconvénient d'affaiblir les lames supérieures du ressort, de nécessiter par suite l'emploi de plusieurs *matresses-feuilles*, et de faire modifier la forme rationnelle du ressort ; cet inconvénient est du reste assez faible et est la conséquence de la disposition même du châssis, qui est telle, que le ressort trouve à peine sa place contre les flancs de la boîte à feu et de la partie cylindrique, ce qui ne permet pas l'emploi de pièces formant saillie sur sa propre largeur. Il faut qu'il y ait beaucoup de dégagement dans le trou du boulon pour que les feuilles ne viennent pas buter et se briser contre lui ; il faut en outre que l'écrou qui repose sur les feuilles ait une forme arrondie au contact, pour faciliter tous les mouvements de l'assemblage. Le plus souvent on interpose sous cet écrou une rondelle dont le dessous possède une encoche dans laquelle roule une dent ou

saillie que porte à cet effet la *maitresse-lame* du ressort (fig. 5, pl. 42).

La forme d'attaches figurée (pl. 42, fig. 9 et 10) est préférable, mais elle ne peut être appliquée que sur les châssis extérieurs. Une ou deux des feuilles supérieures sont enroulées à leurs extrémités et reçoivent un boulon qui passe dans les deux branches d'un étrier; cette pièce est reliée par un boulon à deux filets inverses, avec un étrier semblable, fixé au longeron du châssis par un deuxième boulon. Ce boulon à double filet permet de régler à volonté la charge du ressort. Les fig. 11 et 12, pl. 42, indiquent la disposition qui a été adoptée à l'origine pour fixer les ressorts d'avant des machines Crampton; deux forts boulons passés dans deux manchons, venus de fonte sur la boîte à graisse (fig. 6, pl. 41), supportent une traverse à laquelle est attachée la bride du ressort; celui-ci reçoit la charge du châssis, au moyen de deux boulons à étriers, fixés sur un support attaché aux plaques de garde, comme le représente la fig. 3, pl. 37; la feuille supérieure du ressort est remplacée par une maitresse-lame en fer forgé, assez épaisse à ses extrémités pour que la poussée des boulons d'attache ne puisse pas la refouler sur elle-même et la faire casser. Ces dispositions varient du reste avec les exigences de chaque mode de construction et le groupement des pièces.

On fait, en Allemagne et en Angleterre, un assez fréquent usage de balanciers qui servent à rendre solidaires les ressorts de deux essieux adjacents, ou bien on applique un seul ressort sur les deux boîtes à graisse adjacentes d'un même côté. — Ces diverses combinaisons ne sont qu'à l'état d'exception dans les machines qui se construisent en France; on peut cependant en tirer un utile parti dans beaucoup de cas, pour lever des difficultés de construction.

§ 2. — Roues et Essieux.

Nous avons examiné les roues motrices comme organes de la transmission de mouvement; il nous reste à décrire les *roues* et les

essieux en général, considérés comme supports et comme organes du véhicule.

1^o **ESSIEUX.** — On distingue dans un essieu trois parties principales : le *corps de l'essieu*, les *portées de calage* et les *fusées* ou *tourillons* qui reçoivent, par l'intermédiaire des boîtes à graisse et des ressorts, la charge de la machine.

La fabrication des essieux exige le plus grand soin; ils doivent être en acier fondu doux ou en fer fort de première qualité, parfaitement soudé et corroyé, exempt de pailles, criques ou autres défauts, surtout dans les parties frottantes. On doit s'appliquer à donner aux essieux, à la forge et sous l'action du marteau, une forme qui se rapproche aussi exactement que possible de la forme définitive, pour ne pas enlever par le travail du tour l'*écorce*, qui donne les meilleures surfaces de frottement. Les perfectionnements, et surtout les soins apportés à la fabrication des essieux et au choix des matières premières, ont concouru, avec l'accroissement de leur diamètre, à augmenter dans une très-large proportion la sécurité de la circulation sur les chemins de fer; les accidents occasionnés par des ruptures d'essieux sont devenus extrêmement rares et ne peuvent plus être cités que par exception. Les essieux coudés, en particulier, doivent avoir de très-fortes dimensions, car ils sont plus que d'autres, à raison même de la fatigue qu'ils éprouvent, exposés à se briser; on atténue singulièrement les chances de rupture et surtout celles d'accidents, en répartissant sur quatre ressorts, ou plus exactement sur quatre boîtes à graisse, car les deux boîtes intérieures peuvent être chargées par un ressort unique placé en travers, le poids que l'essieu doit supporter; l'essieu fatigue beaucoup moins, et en cas de rupture chaque roue peut rester en place, comme une roue de brouette, si les deux ressorts qui la commandent se partagent convenablement la charge. Une disposition analogue pourrait être essayée avec succès pour les roues d'avant des machines à quatre roues, ou des machines à six roues qui ont l'avant très-chargé, surtout si ces machines sont destinées à marcher à de très-grandes vitesses. Nous indiquerons,

au livre IV, les dimensions adoptées le plus généralement pour le diamètre des essieux.

La *portée de calage* est la partie de l'essieu qui s'engage dans le moyeu de la roue; elle est exactement tournée comme le trou qui doit la recevoir, et dans lequel elle entre à frottement dur. Le plus souvent on emmanche les roues de machines, sur leurs essieux, au moyen de la presse hydraulique; on consolide l'assemblage par une ou plusieurs clavettes en acier ou en fer trempé, légèrement coniques, qui sont chassées de force dans une rainure tracée sur la portée de l'essieu, et dans une autre rainure tracée en regard sur le moyeu. L'essieu porte, au point de raccordement de la portée de calage, un épaulement destiné à empêcher la roue de se déplacer vers l'intérieur de la voie, si elle venait à se décaler; cet épaulement, s'il n'a pas plus de 0^m,001 de saillie, n'a pas d'inconvénient; s'il est plus haut, il doit être raccordé avec la portée par un congé aussi prononcé que possible, ou remplacé par un tronç de cône d'une inclinaison peu prononcée, car dans beaucoup de cas cet épaulement peut devenir une cause de rupture de l'essieu; quelquefois on supprime l'épaulement et l'on compte uniquement sur la perfection du calage.

En général, on ne saurait apporter trop de soin à éviter les angles vifs, toutes les différences de diamètre doivent se raccorder par des congés prononcés. C'est presque toujours aux angles vifs que commencent les ruptures.

Les *fusées* sont *intérieures* lorsque les longerons sont eux-mêmes intérieurs; dans ce cas, leur diamètre ne diffère pas sensiblement de celui de la portée et du corps de l'essieu; elles portent deux épaulements, dont l'un est commun avec celui de la portée de calage, et qui servent à maintenir en place le coussinet et sa boîte à graisse (*fig. 3, 5 et 7, pl. 25*). Les *fusées* sont *extérieures* lorsque le châssis est extérieur; elles ont alors un diamètre plus petit que la portée de calage et que le corps de l'essieu; elles se terminent par un collet qui maintient le coussinet et la boîte à graisse (*fig. 1 et 3, pl. 43*). Le diamètre et la longueur des fusées doivent être proportionnés à la charge que supporte la roue; au delà d'une

certaine limite de charge, les surfaces s'échauffent et grippent; on peut attribuer cette circonstance à ce fait, qu'au delà d'une certaine pression les matières lubrifiantes ne peuvent plus pénétrer ou rester entre les deux surfaces. La charge des fusées par centimètre carré doit être plus faible pour les machines à grande vitesse que pour les machines à petite vitesse, car, toutes choses égales d'ailleurs, les fusées et les coussinets sont plus disposés à s'échauffer; cette charge élémentaire varie habituellement pour les premières de 12 à 15^k, et pour les dernières de 15 à 18^k, en ne comptant comme contact que le tiers de la surface du coussinet.

2^o *ROUES*. — Nous avons examiné les roues motrices, pour ce qui concerne la transmission de la puissance motrice; au point de vue du mode de construction, nous n'avons pas de distinction à établir entre les roues motrices et les roues du support.

Une *roue* se compose essentiellement d'un *moyeu*, de *rais* ou *rayons*, d'un *bandage* et quelquefois d'un *faux cercle*. Le moyeu forme la partie centrale dans laquelle l'essieu est emmanché, il est en fonte, ou mieux en fer forgé; les rais vont du moyeu à la jante de la roue, ils sont en fer laminé ou en fer forgé, mais très-rarement en fonte. La jante de la roue est formée d'autant d'éléments qu'il y a de rais; ces éléments sont soudés entre eux et forment, par leur réunion, la jante sur laquelle le bandage s'applique à chaud, et est en outre assujéti par des rivets; ce bandage porte un *bourrelet* ou *boudin* saillant qui sert de guide à la roue et l'empêche de sortir de la voie. (Voir *fig. 3 et 4, 5 et 6, 7 et 8, pl. 25; fig. 1 et 2, 5 et 6, 7 et 8, pl. 27; fig. 1 et 2, pl. 43.*)

Les roues avec rais en fonte sont peu employées; elles sont complètement en fonte y compris le bandage, le tout fondu d'une seule pièce, ou bien elles portent un bandage rapporté, le reste en fonte d'une seule pièce.

Divers systèmes ont été suivis pour la fabrication des roues. On les a faites, il y a quelques années, avec des rais de fer laminé (*fig. 3 et 4, pl. 25*). On préfère maintenant les roues à rais en fer forgé. Ces roues (*fig. 5 et 6, pl. 25; fig. 1 et 2, 7 et 8, pl. 26; fig. 13*

et 14, pl. 42; fig. 1 et 2, pl. 43) ont, comme les précédentes, leurs moyeux en fonte; mais, dans ce dernier type, le moyeu est *fretté* par un cercle de fer. Dans ce même type comme dans les autres qui viennent d'être énumérés, chaque rais est amené à présenter la forme d'un T, dont la tige forme le rais et les bras forment les éléments de la jante; ces bras sont coupés en biseau, à chaque extrémité, par des plans parallèles à l'axe du rais, et lorsque tous les rais sont montés, et assemblés par le moyeu en fonte coulé sur leurs extrémités, on réunit les divers éléments de la jante, en les soudant entre eux au moyen de coins en fer rapportés dans les vides formés par la taille en biseau. La roue, arrivée à cet état, est mise sur le tour et reçoit ensuite le bandage placé à chaud et assujéti par des rivets sur la jante. Ces roues, quoique plus coûteuses que les roues à rais en fer laminé, sont préférées, à cause de leur solidité et de leur grande durée.

On fait maintenant un fréquent usage des roues à moyeu en fer forgé (fig. 7 et 8, pl. 25; fig. 5 et 6, pl. 26). Après avoir façonné les rais en T, comme à l'ordinaire, on soude à leur extrémité un coin en fer forgé, qui représente la partie correspondante du moyeu; on ajuste parfaitement ces coins l'un contre l'autre, de manière à former, par leur réunion, un moyeu plein; on serre les éléments de la jante au moyen d'un cercle rapporté et de vis de pression, et l'on place le moyeu sur un feu de forge circulaire, après avoir appliqué des plateaux sur les deux faces; on chauffe cette masse au blanc soudant et on la soude au pilon; on soude ensuite entre eux les bras des T pour former la jante. On obtient ainsi un moyeu parfaitement soudé, qui présente un vide correspondant au trou destiné à recevoir l'essieu; on ajuste ce trou et l'on perce, s'il y a lieu, celui qui doit recevoir le bouton de la manivelle. Suivant un autre système, on *étampe sous le pilon* une masse de fer préalablement corroyée, qui fournit le moyeu avec son évidement central et la naissance des rais. Les T qui les continuent sont soudés à ces naissances et achèvent de former les rais; puis on fait la jante à la manière accoutumée. En général, les roues à moyeux de fer doivent être préférées aux roues à moyeux de fonte.

et à rais en fer forgé pour les machines à très-grande vitesse, dans lesquelles certaines garanties de construction sont utiles, tandis qu'elles sont tout à fait superflues dans d'autres machines; elles joueront un rôle important lorsque la réaction, qui se manifeste dès à présent contre les lourdes machines, conduira les constructeurs à s'ingénier par tous les moyens possibles, pour réduire le poids des pièces; mais rien ne motive l'application qu'on en a faite dans quelque cas, par exemple, à des machines à petite vitesse destinées au transport des marchandises, où le poids surabondant des roues n'est pas perdu pour la puissance de la machine, dont il augmente l'adhérence. Dans la plupart des machines actuellement employées, les roues à moyeux en fonte satisfont à tous les besoins. Ces moyeux durent indéfiniment, et il est facile d'en réduire le poids dans une très-forte proportion, en les garnissant de *frettes* en fer, placées à chaud (fig. 1 et 2, pl. 26; fig. 1 et 2, pl. 43). Mais il faut employer la fonte douce, couler avec de fortes masselottes, éviter les soufflures, décaper les bouts des rais qui doivent être noyés dans le moyeu, et ne rien négliger pour qu'il y ait adhérence.

3^e BANDAGES. — Le bandage est la partie de la roue qui frotte sur le rail et qui sert, au moyen du *mentonnet* ou *boudin* saillant, dont elle est armée, à empêcher la machine de dérailler, lorsqu'elle se déplace accidentellement sur la voie, ou lorsqu'elle franchit des courbes de petit rayon. Le bandage doit être parfaitement ajusté sur la jante de la roue; celle-ci est tournée, et le bandage est généralement alésé à l'intérieur; la pose du bandage se fait à chaud, en donnant 0^m 002 à 0^m 003 de serrage. Le serrage varie avec le diamètre de la roue, avec son mode de construction et avec la qualité du fer employé; lorsque les rais sont en fer forgé ou lorsque les rais sont en fer laminé, et que la jante est formée par un faux cercle qui a déjà été placé à chaud, il faut moins de serrage que lorsque le bandage repose directement sur des rais en fer laminé, qui, par leur forme même, ont toujours une certaine élasticité; il faut également donner un peu plus de serrage lorsque

le bandage n'a pas été préalablement alésé. Lorsque ces deux circonstances se sont trouvées combinées, on a donné quelquefois jusqu'à 0^m 005 à 0^m 008 de serrage, tandis que, pour des roues de support d'un mètre de diamètre, on s'est contenté de 0^m 001 sur des rais en fer forgé. Des bandages trop serrés cassent en service, et quelquefois, au lieu de se fendre simplement, ils arrachent les rivets et se détachent en se développant entièrement; ou même se brisent en plusieurs fragments, qui se dispersent de côté et d'autre.

Le profil du bandage présente, comme celui du rail, une inclinaison de 1/20°. Son boudin, raccordé avec la surface de roulement par un congé qui correspond à celui du rail, ou qui est un peu plus ouvert pour éviter les frottements, a une saillie qui varie de 0^m 030 à 0^m 040 (*fig. 4 à 10, pl. 43*). L'épaisseur au milieu varie de 0^m 040 à 0^m 060; une forte épaisseur rend la fabrication et la pose plus difficiles, mais le bandage peut être mis un plus grand nombre de fois sur le tour avant d'être mis au rebut, et il en résulte une grande économie pour l'entretien. On a remarqué que l'usure du bandage avait lieu principalement au milieu de sa largeur, et qu'il restait sur le bord extérieur, au fur et à mesure de l'usure, un bourrelet, qu'il fallait enlever chaque fois que la roue était mise sur le tour; c'est un surcroît de travail et une perte notable de matière. On a été conduit, par suite, à fabriquer le bandage avec un chanfrein, comme l'indiquent les *fig. 8, 9 et 10, pl. 43*. On a cherché, en outre, à diminuer la quantité de matière inutile, en évidant l'angle intérieur de toute la quantité qui forme saillie sur la jante (*fig. 9 et 10, pl. 43*). Enfin, on a souvent ménagé un petit bourrelet intérieur (*fig. 8*), qui empêche le bandage de se décaler, et qui conserve les rivets ou les boulons d'attache lorsque le serrage disparaît par le laminage du métal.

Les bandages sont fixés sur la jante par l'intermédiaire de rivets (*fig. 5, 6, et 7*) ou de boulons (*fig. 8*), dont la tête est noyée dans l'épaisseur du bandage, et assez longue pour que la roue puisse passer plusieurs fois sur le tour sans qu'il devienne nécessaire de les changer. Le fer des rivets ou des boulons ne doit pas dépasser

en dureté celui du bandage, car il en résulterait une usure inégale. Quelquefois on a fait usage de vis noyées dans l'épaisseur du bandage, mais cet assemblage est insuffisant et manque de solidité. Les boulons doivent être tournés avec soin, à la demande du trou qu'ils doivent remplir, afin qu'il ne reste aucun vide; l'extrémité doit être matée sur l'écrou; la pose doit être faite, comme pour les rivets, avec tout le soin possible; car le moindre jeu occasionne leur prompt destruction; il y aurait sans doute un avantage marqué à les poser à chaud.

Les bandages, et plus spécialement ceux des roues motrices, doivent être fabriqués en acier fondu ou puddlé, ou en fer dur et acéréux, en fer au bois de première qualité, travaillé, soudé et étiré au marteau; ils doivent recevoir entièrement, ou à très-peu près, leur forme définitive sous l'action du marteau dans des étampes; ils ne doivent, tout au plus, passer au laminoir que pour être parés et dressés. Il convient, en outre, de disposer les mises perpendiculairement à la surface de roulement. On s'est toujours beaucoup préoccupé de la fabrication des bandages, et elle a fait de grands progrès en France dans ces dernières années. En appliquant des moyens de fabrication d'une puissance suffisante aux fers au bois de première qualité et de nature aciéreuse, que fournissent plusieurs de nos régions métallurgiques, on est arrivé à obtenir des bandages qui ne le cèdent en rien aux meilleurs produits anglais. On a cherché souvent à augmenter la durée des bandages, en y soudant une mise d'acier, en les trempant en paquet, etc., mais ces essais n'ont jamais eu qu'un succès problématique et ont presque toujours rendu les bandages cassants; la solution doit être cherchée dans l'emploi des bandages en acier fondu fabriqués sans soudure. Cette fabrication commence à devenir courante.

Les bandages sont livrés aux ateliers de construction ou de réparations prêts à poser, ou en bandes coupées de longueur; dans ce dernier cas, on les cintre à chaud et on fait une soudure avec des coins rapportés dans le joint formé par le rapprochement des deux extrémités, que l'on a préalablement refoulées en forme de biseau;

la soudure doit être faite avec le plus grand soin, car c'est le plus souvent parce qu'elle est mal exécutée que la solidité des bandages est compromise. Lorsqu'une soudure est faite, on peut reconnaître si elle est bien exécutée en humectant la surface du bandage, au moment où il vient d'être tourné, avec une dissolution étendue d'acide sulfurique; s'il existe un défaut de soudure, il devient immédiatement manifeste.

Toutes les roues de machines d'un même chemin de fer, toutes celles au moins d'un même système de machines, doivent être exactement fabriquées sur un même calibre, afin qu'on puisse facilement les remplacer les unes par les autres, d'une machine à l'autre; on doit en même temps avoir un certain nombre de roues de rechange, car il arrive souvent que des roues s'échauffent, que des bandages se desserrent, etc., sans que la machine cesse d'être en parfait état. On la soulève au moyen d'une grue puissante établie dans les dépôts principaux, et l'on change les roues, quelquefois même sans éteindre le feu. Ou bien, sans soulever la machine, on lui enlève ses roues par dessous, en les faisant descendre dans une fosse. Lorsqu'une machine a des roues endommagées en marche, hors d'un dépôt ou d'un atelier, il faut également pouvoir les remplacer avec facilité, car il n'est guère possible de transporter une machine toute montée autrement que sur ses propres roues.

LIVRE III.

DESCRIPTION DU TENDER ET TYPES SPÉCIAUX DE MACHINES.

CHAPITRE I.

Tender.

Le tender proprement dit est un chariot portant le combustible, l'eau, les outils, les matières à graisser, etc., nécessaires à l'alimentation ou au service de la locomotive; il est accouplé à celle-ci et peut en être séparé en enlevant la *barre de traction*. Depuis quelques années il existe, au point de vue du transport des approvisionnements, deux systèmes dont l'examen devra faire l'objet de deux chapitres distincts; nous voulons parler des *machines-tender*, où la machine porte elle-même ses provisions, sans le secours d'un chariot additionnel; et des *machines-Engerth*, où le tender, quoique constituant un véhicule complet, devient cependant partie intégrante de la locomotive. Nous ne voulons parler ici que du tender proprement dit, tel qu'il existe encore dans beaucoup de cas et tel qu'il a existé seul pendant longtemps. Les derniers modèles de tenders adoptés en France ont une

contenance de 5 à 8^m d'eau, et 1,000 à 3,500 kilogrammes de coke.

Le tender porte toujours un frein qui agit, suivant les cas, sur une, deux ou trois paires de roues. Il se relie avec le convoi remorqué, par une barre et un crochet de traction et par des tampons de choc, élastiques. Il porte à l'arrière une caisse qui renferme les agrès les plus indispensables en cas d'accident, et à l'avant, sur la caisse à eau, des coffres pour menus outils et ustensiles divers.

5 1^{er}. — Caisse à eau.

1^o CAISSE, RÉSERVOIR D'EAU. — La *caisse à eau* affecte généralement la forme indiquée aux *pl. 44, 48 et 49*. Les parois sont planes, horizontales ou verticales; les parois qui forment le réservoir proprement dit, sont en tôle dont l'épaisseur varie ordinairement de 0^m 003 à 0^m 005; elles sont assemblées aux angles par des cornières rivées. Les parois verticales qui tendraient à se gondoler sous la pression occasionnée par la charge d'eau sont consolidées par des fers cornières disposés, de place en place, dans le sens vertical, en regard les uns des autres, et reliés deux à deux par des bandes de fer faisant fonction d'entre-toises. On consolide également le fond par des cornières, dans les parties où il ne repose pas sur le châssis. La paroi supérieure de la caisse à eau est formée par une feuille de tôle de 0^m 003 à 0^m 004; elle ne porte que des objets d'un faible poids; elle consolide les parois verticales auxquelles elle s'attache. Lorsque des nécessités de service forcent au contraire de la charger avec le combustible, il faut la fortifier et en prévenir l'oxydation et l'usure par rottement, en la couvrant de voliges jointives qu'on remplace quand il en est besoin. La hauteur de la caisse à eau est ordinairement de 0^m 80 à 1^m; dans l'exemple que nous avons choisi *pl. 44*, la capacité est de 6^m 500. Le tender de la *pl. 49, fig. 1 et 2* ne comporte que 4^m.

Lorsque le châssis de la machine et, par suite, celui du tender sont très-bas, et qu'en même temps les roues du tender ont un certain diamètre, on les fait pénétrer dans la caisse, comme l'indiquent les *fig. 1 et 2, pl. 44*.

La forme de fer à cheval de la caisse est commandée par la nécessité de répartir autant que possible la charge sur tous les essieux, tout en plaçant le coke, que l'on empile dans l'intérieur du fer à cheval, à la portée du chauffeur. Quelquefois, pour augmenter la capacité du réservoir à eau, en reprenant une partie de l'espace réservé au combustible, et où il est difficile d'aller le chercher, on a donné à la caisse, au sommet du fer à cheval, la forme représentée par la *fig. 3, pl. 48; fig. 4 et 5, pl. 49*; il faut alors augmenter l'épaisseur de la tôle que le frottement du combustible use assez promptement; cette usure est le seul inconvénient que présente cette disposition.

Quelques constructeurs ont préféré à la caisse que nous venons de décrire, une caisse prismatique, placée à l'arrière, qui laisse toute la partie antérieure disponible pour charger le combustible; en combinant convenablement la forme de cette caisse et la position des roues, on peut encore arriver à peu près à répartir convenablement sur celles-ci la charge totale; d'autres enfin ont fait descendre la caisse à eau au-dessous du niveau du plancher du tender et entre les essieux.

Dans le tender ordinaire, un plancher général dépendant de la caisse à eau, ou rapporté sur le châssis dans l'intervalle que la caisse à eau laisse à découvert, ferme l'espace compris entre les deux branches du fer à cheval et constitue le magasin de combustible. Quelquefois, on fait plonger ce plancher entre les deux branches du châssis, pour augmenter la capacité de ce magasin. Souvent on a fermé l'entrée du fer à cheval par une porte à coulisse, glissant entre deux rainures verticales, ou par deux portes à charnières, ou mieux enfin par une simple cloison en planches qui laisse à la partie inférieure une ouverture suffisante, afin de pouvoir empiler le combustible sur une plus grande hauteur; l'application de cette disposition dépend uniquement des règles adop-

tées sur chaque chemin de fer pour le service du combustible, suivant qu'on approvisionne la machine pour un long parcours, ou qu'on renouvelle fréquemment sa provision.

Les parois extérieures de la caisse à eau sont prolongées au-dessus du fond supérieur pour former une hausse ou galerie, qui sert à retenir tous les ustensiles et objets que le mécanicien pose sur le tender; elle peut servir en même temps pour approvisionner une plus grande quantité de combustible, ou pour retenir les sacs remplis de combustible, que l'on pose quelquefois en réserve sur la caisse à eau (*fig. 1 et 2, pl. 44*). La caisse doit porter, sur les côtés intérieurs du fer à cheval, quatre poignées qui servent à l'enlever au moyen d'une grue, lorsqu'il y a quelques réparations à faire (*fig. 1 et 2, pl. 44*).

Les caisses à eau en tôle, reposant directement sur les châssis en fer, s'usent très-vite par les vibrations, d'autant plus qu'elles ne portent jamais exactement partout; on s'est trouvé très-bien de l'interposition de semelles en bois ou mieux d'un plancher complet en bois qui soutient le fond.

2° ACCESSOIRES DE LA CAISSE A EAU. — La caisse à eau présente, pour l'introduction de l'eau que fournissent les réservoirs et les grues hydrauliques, une ouverture placée à l'arrière et percée dans la paroi supérieure; cette ouverture est garnie d'un bord qui a pour objet d'empêcher les fragments de coke et objets de toute nature placés sur le tender de tomber dans la caisse; elle est garnie, en outre, d'un couvercle indépendant qu'on enlève à la main ou d'un couvercle à charnière qu'on relève également au moyen d'une poignée (*fig. 1 et 2, pl. 49*); enfin, elle reçoit un panier conique, en cuivre rouge, percé d'un grand nombre de petits trous, dont le diamètre varie de 0^m 003 à 0^m 005 depuis le bas jusqu'à la partie supérieure. Ce panier retient tous les menus objets qui peuvent être amenés par l'eau des réservoirs, tels que pailles, brins d'herbe, branchages, chiffons, poissons, etc., et qui, entraînés dans les tuyaux d'aspiration, pourraient empêcher le jeu des clapets. Depuis une dizaine d'années, pour augmenter l'espace

disponible pour le chargement du coke, et pour diminuer la saillie des grues hydrauliques, on place généralement deux ouvertures dans les deux angles d'arrière de la caisse; le rebord qui les entoure s'élève jusqu'au niveau des hausses, et affecte, ainsi que le couvercle, la forme d'un carré dans lequel est inscrit le panier en cuivre (*fig. 1, 2 et 3, pl. 44; fig. 2, pl. 48; et fig. 4 et 5, pl. 49*).

On place sur le devant de la caisse à eau une ou deux boîtes en tôle ou en bois, fermant au moyen d'un cadenas, et servant au mécanicien pour placer ses outils, ses effets, etc. (*fig. 2 à 4 pl. 44; fig. 1 et 2, pl. 48*). Il convient d'assujettir ces boîtes sur la caisse à eau, pour qu'elles ne tombent pas sur la voie ou ne soient pas projetées sur la machine, en cas d'accident.

On trouve enfin, sur la plupart des tenders, des coffres placés en avant, des deux côtés, et pouvant servir de siège (*fig. 2, 3 et 4, pl. 44; fig. 1 et 2, pl. 48; fig. 3 et 4, pl. 49*); ces coffres servent pour placer les chiffons, la graisse, etc. Quelques constructeurs les ont entièrement supprimés, pour augmenter, sur un châssis donné, la capacité du réservoir à eau; on peut, en effet, s'en passer, en donnant aux caisses à outils placées sur le tender une capacité suffisante.

On voit quelquefois régner sur les côtés extérieurs de la caisse à eau, à la hauteur du tablier, une petite galerie formée par une feuille de tôle de 0^m 10 à 0^m 15 de large, ménagée pour faciliter la circulation autour du tender pendant la marche. Cette addition n'a pas d'utilité.

Les soupapes de prise d'eau sont au nombre de deux; elles sont placées sur un siège fixé au fond de la caisse, à la partie antérieure; elles sont manœuvrées par des tiges qui traversent la paroi supérieure de la caisse, et sont commandées par de petites manettes en fer. La *fig. 5, pl. 44*, indique la disposition que l'on adopte le plus généralement. Le siège de la soupape doit s'élever de 0^m 05 à 0^m 06, en contre-haut du fond du tender, pour que les dépôts qui s'y accumulent ne pénétrant pas dans les tuyaux d'aspiration. Quelquefois, par mesure de précaution, on recouvre le siège de la soupape d'un panier en fil de laiton à mailles très-

serrées, ou formé d'une feuille de cuivre, percée de trous très-petits. La partie supérieure de la tige de la soupape est filetée et passe dans un écrou en bronze; en la faisant tourner au moyen de la manette, le mécanicien l'ouvre graduellement, et règle l'ouverture au degré convenable. On peut fixer la manette sur l'écrou, que l'on rend mobile, la tige étant maintenue transversalement par des guides, mais la disposition qui précède est préférable. Une combinaison plus simple consiste à faire reposer la manette sur une pièce annulaire en fonte, sur laquelle sont tracés des crans étagés en forme de gradins, et servant à régler l'ouverture de la soupape; mais on ne peut faire varier l'ouverture que par sauts brusques, et la trépidation du tender peut souvent déplacer la manette et déranger l'alimentation. Le siège de la soupape est une pièce en bronze, boulonnée sur le fond du tender et recevant en dessous le tuyau d'aspiration, qui est assemblé par un joint à bride; un *robinet* ou *bouchon de vidange* est en outre nécessaire pour mettre la caisse à sec en cas de réparation.

Des robinets-jauge sont étagés, au nombre de 2 ou 3, sur le flanc extérieur de la caisse à eau, pour en indiquer le niveau à l'intérieur. Leur forme et leur dimension sont les mêmes que pour les robinets-jauge des chaudières, dont nous avons parlé. Ils doivent être placés du côté de la grue hydraulique, de manière à ce qu'en ouvrant le robinet supérieur, l'employé puisse reconnaître qu'il est temps de fermer la vanne d'eau sans se tenir auprès de la bouche de déversement dans le tender, et en se livrant à d'autres occupations.

On a quelquefois donné au robinet inférieur une section plus grande, afin de permettre de puiser plus rapidement de l'eau dans le tender s'il se manifeste en route un commencement d'incendie, ou si une pièce frottante de la machine s'échauffe de manière à ce qu'on ne puisse pas attendre la station pour la rafraîchir.

3. — CHÂSSIS.

1^o CHÂSSIS PROPREMENT DIT. — Le *châssis* est intermédiaire

entre la caisse à eau et les roues; il remplit la même fonction que le châssis d'un wagon ou d'une locomotive, en tant qu'on le considère comme véhicule, et sa construction est basée sur les mêmes principes; il est en bois ou en tôle. Les opinions sont partagées sur le mérite de ces deux systèmes; le premier a pour lui l'avantage de la légèreté et de l'économie des frais de premier établissement; s'il est plus coûteux d'entretien, ce qui pourrait être contesté jusqu'à un certain point, il est moins dispendieux pour les réparations des avaries causées par un accident. Le châssis en tôle résiste mieux à des chocs d'une intensité modérée, il est plus rigide et conserve mieux ses formes dans les circonstances ordinaires; il convient pour les machines à grande vitesse, qui doivent entraîner avec elles l'eau et le coke nécessaires pour de longs parcours sans arrêt, et qui ne comportent que l'adjonction de véhicules d'une solidité à toute épreuve; il convient également pour des trains de marchandises très-lourds.

Les châssis en bois sont formés de 2 ou 4 brancards ou longerons en bois de chêne, réunis aux deux extrémités par des traverses également en bois; ils sont consolidés par une ou plusieurs traverses intermédiaires (*fig. 1 et 2, pl. 49*). Lorsque le plancher qui forme le fond du magasin à coke descend au-dessous de la caisse à eau, comme l'indiquent les deux figures précédentes, il sert lui-même d'entretoise entre les brancards et remplace des traverses en bois. On consolide quelquefois le châssis en y ajoutant deux pièces de bois diagonales, assemblées à *mi-bois* entre elles et formant *croix de Saint-André*. Les longerons sont assemblés à tenons et mortaises sur les traverses extrêmes; les traverses intermédiaires sont assemblées de même sur les longerons. La hauteur de ces diverses pièces de bois est en général de 0^m 25, et la largeur varie de 0^m 10 à 0^m 12. Les assemblages sont consolidés par de fortes équerres.

Le châssis en tôle est ordinairement composé de deux longerons formés chacun soit d'une seule pièce de fer, soit de deux feuilles de tôle; celles-ci sont reliées par des entretoises en fonte dans lesquelles passent des boulons en fer (*fig. 1 et 2, pl. 45*),

ou par un faux brancard en bois. Les plaques de garde, qui remplissent la même fonction que celles des roues de support dans les machines, sont rapportées (fig. 1 et 2, pl. 45, et fig. 1, pl. 48) ou découpées dans la tôle (fig. 3 et 4, pl. 49). Les longérons sont reliés par des feuilles de tôle de champ, formant traverses, et assujetties par leurs extrémités au moyen de cornières; aux deux extrémités, les traverses sont consolidées par deux tabliers en tôle, entre lesquels sont fixées les pièces de l'attelage; le tablier supérieur sert, à l'avant, de plate-forme pour le service; il est en quelque sorte le prolongement de la plate-forme de la machine et du plancher du magasin à coke; à l'arrière, il sert de support pour la caisse à outils. Le tablier inférieur ou *faux tablier* complète la traverse, et sert, avec le tablier supérieur, de point d'attache aux barres et chaînes d'attelage. Pour consolider le châssis, on fait régner dans son milieu, et entre les deux traverses extrêmes, une bande de tôle ou deux cornières rivées dos à dos et assemblées avec les traverses.

Les châssis de tender sont généralement à quatre roues (pl. 45 et 48). On trouve quelques exemples de châssis à six roues (fig. 3 et 4, pl. 49), mais on peut se contenter de deux paires de roues, lors même qu'on donne aux réservoirs à eau et à coke des dimensions très-considérables; la troisième paire de roues augmente les frais de construction et détermine un surcroît de frottement au passage des courbes; il faut, en outre, établir un frein compliqué (fig. 3, pl. 49) ou réduire son action à deux paires de roues.

2° ATTELAGES. — Dans les premières machines, la liaison du tender avec la machine se faisait au moyen d'une simple barre de fer ou *barre d'attelage*, fixée à chaque extrémité par un *boulon d'attelage*. Pour séparer le tender de la machine, on enlevait le boulon d'attelage de la machine comme nous l'avons indiqué, en décrivant les accessoires de la machine. Le boulon d'attelage du tender était fixe comme l'indique la fig. 1, pl. 45; l'extrémité de la barre d'attelage prise entre deux tasseaux attachés l'un au tablier supérieur, l'autre au tablier inférieur, était traversée, ainsi que ces deux tasseaux, par le boulon d'attelage.

Lorsque la vitesse du convoi s'est accélérée, et surtout lorsque l'emploi des machines à cylindres extérieurs est devenu plus général, on a senti le besoin de relier d'une manière plus intime la machine avec le tender, de prendre un point d'appui sur celui-ci pour combattre la tendance au mouvement de lacet, et pour éviter les chocs répétés qu'éprouvait la barre d'attelage dans le sens longitudinal. Le premier moyen employé, le plus simple de tous, a consisté à placer sous le tablier du tender ou sous la plate-forme de la machine, suivant que les circonstances le permettaient, un ressort de traction en acier; ce ressort portait un crochet, et un crochet semblable était fixé à la traverse d'arrière de la machine, ou à la traverse d'avant du tender. Aux deux crochets, on suspendait les deux étriers d'une barre d'attelage à vis (fig. 5 et 6, pl. 49); en même temps, on armait la traverse d'avant du tender de deux tampons en bois (fig. 1, pl. 49), qui s'appuyaient sur la traverse d'arrière de la machine, ou *vice versa*. Pour atteler, on poussait le tender contre la machine, on accrochait la barre d'attelage, et, en faisant tourner la vis au moyen de la tige soudée sur la partie intermédiaire, on serrait fortement le tender contre la machine, en donnant au ressort une tension totale de 1,500 à 1,800 kilogrammes. Le tender et la machine étant rendus en quelque sorte solidaires, les mouvements latéraux de celle-ci étaient plus ou moins efficacement contrariés, sa stabilité plus ou moins assurée. Ce mode d'attelage a été appliqué, dès l'origine, aux machines du chemin de fer de Rouen et sur quelques autres lignes, où il a toujours donné des résultats très-satisfaisants. Essayé, à l'origine de l'exploitation, sur le chemin de fer du Nord, sur des machines très-chargées à l'arrière, il a présenté l'inconvénient grave de ruptures fréquentes de la vis, occasionnées par l'inégalité de la voie, qui laissait beaucoup à désirer au début. On a cherché à le remplacer par un *tendeur* à ressort agissant sur les tampons de serrage. Cette dernière disposition a été imitée sur plusieurs autres chemins, où l'on ne s'est peut-être pas rendu un compte suffisant des motifs qui l'avaient fait adopter une première fois. Dans la plupart des cas, elle est

loin de valoir la simple barre d'attelage à vis; il est rare du reste qu'elle fonctionne d'une manière satisfaisante.

Les *fig. 1 et 2, pl. 45*, et les *fig. 1, 2 et 3, pl. 46*, représentent l'ensemble du tender appliqué aux machines Crampton du chemin de fer du Nord, et les détails de celui qui a été appliqué aux machines à voyageurs du chemin de fer de Lyon. Dans ce dernier tender, la barre d'attelage est fixée au châssis par un boulon passant à travers deux guides en fer boulonnés sur le tablier supérieur et sur un tablier intermédiaire (*fig. 3, pl. 49*). Les deux tampons de serrage sont formés de boîtes en fonte, boulonnées entre les deux tabliers intermédiaires (*fig. 1 et 2, pl. 46*), dans l'intérieur desquelles se meut un ressort en caoutchouc vulcanisé formé de six rondelles; ces rondelles, comprises dans un cylindre fermé à une des extrémités qui forme tampon, sont pressées par une pièce en fonte qui sort de la boîte par un trou servant de guide; sur l'extrémité de cette pièce s'appuie un petit excentrique monté sur un arbre horizontal, commandé lui-même par une roue dentée engageant avec une vis sans fin (*fig. 1, 2 et 3, pl. 46*); au moyen d'une manivelle appliquée sur la tige qui forme le prolongement de la vis sans fin, le mécanicien, après avoir attelé la machine avec son tender, comprime les ressorts en caoutchouc et tend l'attelage en pressant fortement les tampons sur la traverse d'avant de la machine.

Un autre mode d'attelage est plus généralement aujourd'hui adopté sur plusieurs chemins de fer: la barre d'attelage est attachée sous la plate-forme de la machine à un ressort de traction qui détermine la tension nécessaire pour faire presser les tampons de serrage sur la traverse qui leur sert de point d'appui; pour placer et enlever le boulon d'attelage du tender qui est mobile, le mécanicien agit au moyen d'une clef à douille, armée d'un long bras de levier sur la tige d'un excentrique horizontal placé derrière la bride du ressort, et augmente la tension de celui-ci jusqu'à ce que les tampons cessent de serrer contre la traverse; la pression de la barre sur son boulon d'attelage est momentanément supprimée et celui-ci peut être enlevé avec facilité. Le ressort

peut être placé sous le tablier du tender, et on peut alors employer l'arbre horizontal et la vis sans fin que nous avons décrits plus haut, pour augmenter la tension au moment où on enlève ou met en place la barre d'attelage. — La manœuvre de cet excentrique est souvent difficile.

La question de l'attelage a perdu beaucoup de son importance depuis que l'on est arrivé, par une application plus complète des *contre-poids*, à équilibrer complètement les actions intérieures qui tendaient à faire osciller la machine par rapport au tender, dans le sens longitudinal comme dans le sens transversal. C'est une question que nous aurons du reste l'occasion de traiter avec détail, lorsque nous examinerons la machine locomotivée dans son ensemble.

Pour empêcher la machine de se séparer du tender en cas de rupture de la barre d'attelage, on place deux *chaînes de sûreté*, fixées à la traverse de la machine ou à celle du tender, et terminées par un anneau ou par un crochet qui s'attache, lorsque la barre d'attelage est mise en place, à un crochet ou un anneau assujéti sur le tender ou sur la machine; ces chaînes doivent être très-courtes et n'avoir que le jeu nécessaire pour la mise en place. — On fait généralement es chaînes de sûreté trop faibles; il conviendrait d'employer du fer d'excellente qualité de 0^m 025 à 0^m 030 de diamètre.

Lorsque le châssis est en bois, on relie l'attache de la barre d'attelage de la machine avec le crochet de traction placé à l'arrière du tender au moyen d'une forte barre de fer qui transmet de l'un à l'autre, et sans fatiguer le châssis, l'effort exercé par la machine (*fig. 1, pl. 49*).

L'attelage du tender avec le train se fait au moyen d'un simple crochet sur lequel on applique la barre d'attelage à vis du premier wagon (*fig. 1, pl. 49*); les tampons de choc sont formés comme ceux de la traverse d'avant des machines, ou bien on emploie un système d'attelage élastique composé d'un ressort de choc et de traction, placé sous le tablier d'arrière ou sous la caisse à eau, saisi à son sommet par la barre d'attelage, et s'appuyant par

ses extrémités sur des tiges en fer armées à leur extrémité de tampons de choc (fig. 4 et 5, pl. 46).

La barre de traction est fixée à la bride du ressort par une clavette ou par un boulon ; elle est dirigée par un guide en fonte boulonné sur le tablier d'arrière et le faux tablier ; lorsque le ressort de traction est placé sous la caisse à eau, il s'appuie, au moyen de patins en fonte, sur l'extrémité des tiges de choc, qui sont dirigées par deux guides en fonte et par les traverses intermédiaires (fig. 1 et 2, pl. 45) ; lorsque le ressort est placé sous le tablier d'arrière, les tiges de choc portent dans un point intermédiaire une bride dans laquelle est engagée et sur laquelle presse l'extrémité du ressort (fig. 4, pl. 46) ; la tige est dirigée près du tampon par un faux tampon en fonte et par un guide additionnel placé à l'autre extrémité.

La course de la barre de traction et celle des tiges de choc sont limitées, car si les ressorts sont destinés à amortir les chocs qui se produisent dans les circonstances habituelles, ils ne pourraient pas résister à des chocs accidentels très-violents, qui les briseraient ou tout au moins les déformeraient ; pour cela on dispose sur les tiges de choc des embases qui viennent s'appuyer sur les guides en fonte assujettis au tablier d'arrière (fig. 4 et 5, pl. 46). Ces guides doivent être en deux parties lorsque la disposition des embases ne permet pas d'enfiler les tiges sans les démonter.

Lorsqu'on se propose d'établir un système d'attelage complet, on doit préférer la disposition de la pl. 45 à celle de la pl. 49 ; elle a moins de tendance à déformer le châssis qui supporte les chocs, et elle charge moins les roues d'arrière qui ont à porter la plus grande partie du poids de l'appareil.

Les tiges de traction et de choc ont 0^m 05 à 0^m 06 de diamètre ou d'équarrissage ; les tampons, proprement dits, sont en orme tortillard ; ils sont fixés au moyen de vis sur une large embase que porte chaque tige de choc ; l'un des tampons est bombé et porte sur le tampon plat de la première voiture, l'autre est plat et reçoit le tampon bombé de la voiture. On réunit la première voiture du train avec le tender, au moyen d'une vis d'attelage à pas inversés

semblable à celle de la fig. 6, pl. 49, mais de dimension plus faible ; habituellement le tender porte, comme chaque voiture, sa barre d'attelage ; elle est fixée à demeure dans l'œil du crochet (fig. 5, pl. 46), et, lorsqu'elle est en place, elle vient embrasser le crochet opposé ; on serre la vis et on presse les tampons de choc les uns contre les autres, pour opposer une résistance au mouvement de lacet, que le tender et les véhicules tendent à prendre par l'effet même du mouvement de translation.

Des chaînes de sûreté (fig. 4, pl. 46, et fig. 2, pl. 45) qui s'attachent à des chaînes semblables fixées à toutes les voitures, complètent la liaison et empêchent le train de se séparer en cas de rupture de la barre d'attelage, pourvu toutefois que ces chaînes soient assez fortes pour ne pas se briser sous l'action du choc, qui se produit naturellement en pareille circonstance. Il serait très-bon, pour éviter les ruptures des chaînes de sûreté, de placer une ou deux rondelles de caoutchouc sur la tige des pitons d'attache de ces chaînes, soit pour celles qui sont interposées entre la machine et le tender, soit même pour celles qui sont à l'arrière du tender.

On place habituellement sur le tablier d'arrière une grande caisse en bois ou en tôle, fermée au moyen d'un cadenas ; cette caisse renferme les appareils et agrès de première nécessité pour relever une machine ou des wagons en cas d'accident, tels que crics, verrins, pinces, prolonge, chaînes, etc. ; lorsqu'il n'y a pas de tablier à l'arrière du tender, ces objets peuvent être placés sur la caisse à eau ou dans l'un des wagons à bagages du convoi.

Les attaches de la caisse à eau sur le châssis consistent en pattes en fer ou en fonte, rivées sur le fond de la caisse et boulonnées sur les longerons ; elles sont au nombre de quatre ou de six ; quelquefois on a employé avec avantage des cornières. — Tout en présentant beaucoup de solidité, l'assemblage doit être d'un démontage facile, car il est nécessaire de séparer la caisse de son châssis toutes les fois que le fond doit être réparé, et lorsque le châssis lui-même a besoin de réparations.

§ 3. — Suspension.

Les *plaques de garde* sont le plus souvent rapportées, ainsi que nous l'avons déjà indiqué à propos des locomotives, quelquefois découpées dans les feuilles de tôle qui constituent les longerons; elles sont généralement doubles. Il est nécessaire de réunir par de fortes entretoises les plaques de garde d'un même côté, pour les consolider contre l'action des freins qui tend à les fausser. Leur disposition ne présente du reste rien de spécial qui n'ait été indiqué, lorsque nous avons décrit la machine locomotive.

Les *boîtes à graisse* sont en fonte avec coussinets en bronze; elles sont maintenues entre des guides en fonte fixés sur les plaques de garde, comme dans les machines, ou simplement guidées directement par les plaques de garde, qui sont prises dans des rainures venues de fonte sur les boîtes, comme cela se fait pour les boîtes à graisse de voitures. Les fusées des essieux sont toujours extérieures aux roues, et les boîtes sont disposées comme celles des machines à châssis extérieurs, le devant fermé par une paroi venue de fonte avec le reste. Le *dessus de boîte* est disposé comme celui des machines et fixé par des goujons maintenus entre les guides des plaques de garde, ou par des boulons lorsqu'il n'y a pas de guides. Le dessus de la boîte porte un mamelon qui reçoit la tige du ressort de suspension, et qui est entouré d'une cavité formant réservoir à graisse (fig. 1 et 2, 3 et 4, pl. 47); les fig. 3 et 4 indiquent une disposition adoptée sur le chemin de fer de l'Est, pour augmenter la capacité de ce réservoir. Lorsque les sabots du frein sont guidés par une barre longitudinale, qui porte en même temps l'arbre-levier de transmission, comme on le verra plus loin, cette barre se termine par deux crochets qui s'appuient sur des collerettes venues de fonte sur les boîtes à graisse (fig. 1 et 2, 3 et 4, pl. 47).

Au chemin de fer d'Orléans on fait usage de boîtes à huile et à graisse combinées; l'huile est dans la cuvette inférieure, suffisamment agrandie, au-dessous de la fusée; on la verse par une ou-

verture à couvercle placée sur la partie antérieure de la boîte; 2 mèches plongeant dans cette huile, portent celle-ci par la capillarité sur une bande de laine qui est en contact avec le dessous de la fusée et la lubrifie ainsi constamment. La graisse dure est dans son réservoir accoutumé au-dessus de la fusée, mais les *lampières* par lesquelles elle descend, à mesure qu'elle se liquéfie, sont bouchées avec du *métal fusible de Darcey*, qui fond, lorsque la fusée chauffe, et laisse alors descendre la graisse liquéfiée. L'huile est donc le lubrifiant normal, la graisse dure n'est utilisée qu'en cas d'échauffement. Ce système, qui n'est encore adopté que pour les wagons et tenders à grande vitesse, pourrait être appliqué avantageusement aux locomotives elles-mêmes.

Les *ressorts de suspension* ne diffèrent pas, quant au mode de construction, de ceux des machines; leurs dimensions doivent être calculées en raison de la charge qu'ils ont à supporter, de telle sorte que le châssis soit horizontal; comme cette charge varie, du reste, dans des limites assez étendues, il est nécessaire qu'ils n'aient qu'une flexibilité assez restreinte, c'est-à-dire que la flèche ne varie pas d'une quantité considérable, suivant que la caisse et le réservoir à coke sont pleins ou vides. La *bride* du ressort s'appuie par sa *tige* sur la boîte à graisse; quelquefois elle porte en dessus une tige qui passe dans un guide fixé au longeron (fig. 2, pl. 49), pour empêcher le ressort de se déverser; cette précaution est utile surtout lorsqu'il n'y a qu'une plaque de garde, car, dans le cas contraire, le ressort est dirigé par les deux plaques de garde.

Le châssis repose quelquefois sur les extrémités des ressorts au moyen de *patins* en fonte fixés sur les longerons, et lorsque le ressort fléchit en s'allongeant il glisse sur ces patins; dans ce cas, il n'y a d'autre moyen de régler la charge du ressort qu'en modifiant sa forme, en allongeant ou raccourcissant sa tige ou en interposant des cales entre les patins et le longeron. Mais le plus souvent on dispose les moyens d'attache de manière à pouvoir régler la charge du ressort sans le démonter; on peut fixer les patins au châssis au moyen d'une tige filetée, passant dans un

support boulonné sur les longerons et retenu par un double écrou (fig. 11 et 12, pl. 47), en ayant soin de guider ces patins pour empêcher le déversement latéral. On peut encore employer une tige à étrier (fig. 8, 9 et 10, pl. 47), attachée sur un support à pivot, pris entre les deux plaques de garde ou entre les deux longerons; cette dernière disposition rend plus libre l'allongement du ressort, lorsque sa flèche varie avec la charge.

§ 4. — Roues et essieux.

La construction des roues de tender a suivi les mêmes phases que celle des roues de machines; aux dimensions près, elles sont établies sur le même modèle que les roues de support des machines à châssis extérieur. On fabrique quelquefois des roues de tenders avec moyeux en fer forgé; mais les roues à moyeux en fonte et à rais en fer forgé, soudés à la jante, suffisent pour tous les besoins; l'emploi des moyeux en fer forgé ne serait réellement justifié que si l'on s'appliquait à alléger, par tous les moyens possibles, le poids du matériel à remorquer.

On fait depuis quelque temps un assez grand usage de roues pleines en fer forgé, d'une seule pièce, avec bandage rapporté (voir pl. 47, fig. 5 et 6). La fig. 5, pl. 43, montre comment le bandage est rivé sur la jante de la roue.

Les dimensions des fusées doivent être en rapport avec la charge qu'elles ont à supporter; elles varient avec la vitesse: c'est ainsi que, sur le chemin de fer du Nord, les fusées qui avaient 0^m 08 de diamètre sur 0^m 15 de longueur, ont été portées à 0^m 095 sur 0^m 190; les essieux de tenders des machines Crampton, construites pour le même chemin, ont des fusées de 0^m 13 de diamètre sur 0^m 24 de longueur (fig. 7, pl. 47).

Les observations que nous avons faites au sujet des bandages, en décrivant la machine locomotive, s'appliquent aux roues de tender; l'épaisseur au milieu n'atteint pas toujours la même dimension que dans les roues de machines, mais elle doit être portée au moins de 0^m 04 à 0^m 06.

§ 5. — Frein.

Le frein appliqué au tender est destiné à amortir la vitesse acquise de la machine et du convoi qu'elle remorque, lorsqu'il est nécessaire de ralentir ou d'arrêter. Il se compose essentiellement d'une série de leviers, vis ou engrenages, au moyen desquels le chauffeur, qui accompagne le mécanicien, peut presser fortement des sabots en bois sur la circonférence des roues. Le rapport des éléments du frein est calculé pour qu'un seul homme, par son poids ou par sa force musculaire, puisse déterminer un frottement supérieur à l'adhérence des roues, de telle sorte que celles-ci soient arrêtées dans leur mouvement de rotation, et soient obligées de glisser sur les rails; il se développe ainsi, en même temps que la machine cesse de fonctionner, un travail résistant très-considérable, qui détruit graduellement la quantité de mouvement dont le convoi est animé, et finit par occasionner l'arrêt. Lorsque le frottement des sabots du frein n'est pas supérieur à l'adhérence, la roue continue à tourner en frottant sur le sabot; il y a toujours un travail résistant qui absorbe une partie de la force vive et produit une diminution de vitesse correspondante.

La disposition de mécanisme la plus élémentaire consiste dans l'emploi d'un levier, sur lequel l'homme préposé à la manœuvre agit par son poids; quel que soit le rapport du levier, sur lequel s'applique l'action de l'homme, au levier qui porte le sabot, il est difficile d'établir une proportion telle, que la roue puisse être rendue immobile. L'emploi du frein à levier doit donc être remplacé par un autre procédé dès que le tender est un peu lourd, car il importe de ne pas laisser frotter indéfiniment les sabots, qui se polissent et cessent d'exercer le frottement normal; ils s'usent d'ailleurs rapidement et peuvent même s'enflammer.

La combinaison du mécanisme des freins varie de bien des manières; l'une des plus anciennes et des plus simples, et dont nous n'hésitons pas à recommander l'application, est celle que représentent les fig. 1 et 2, pl. 49. Une tige verticale, filetée à

son extrémité supérieure, est appelée par un écrou mobile, placé au centre d'une roue d'angle commandée par une autre roue d'angle et par une tige horizontale, dont l'extrémité porte un petit volant en forme de manivelle. Cette tige est entraînée dans le sens vertical, de bas en haut ou de haut en bas, par le mouvement de rotation que le chauffeur imprime au volant; elle porte à sa partie inférieure deux bielles attachées chacune à l'un des deux sabots, lesquels sont suspendus, au moyen d'une articulation, au châssis même du tender. Lorsque le chauffeur fait monter la tige verticale, en faisant tourner le volant, les sabots s'écartent, s'appliquent contre les roues qu'ils pressent de plus en plus, jusqu'au moment où la pression exercée fait équilibre à l'action développée sur les bras du volant. Pour éviter de fatiguer les plaques de garde et les boîtes à graisse, on place un second sabot extérieurement sur chaque roue, en le reliant, au moyen de tringles en fer, au sabot intérieur de l'autre roue, comme l'indique la *fig. 1, pl. 48*. Ce système de frein se réduit souvent aux deux sabots intérieurs, les deux plaques de garde du même côté étant alors solidement reliées entre elles; il a l'avantage, dans ce cas, d'une grande simplicité. Lorsque les bielles de transmission de l'effort sur les sabots se rapprochent de l'horizontale, le frein prend une puissance considérable, car l'effort exercé devient la petite diagonale d'un losange, dont la résistance est la grande diagonale; aussi est-il nécessaire d'empêcher des ouvriers maladroits de rapporter sur la carcasse en fer des sabots, des blocs de bois d'une grande épaisseur, pour que le frein ne reste pas impuissant jusqu'à ce que ces sabots aient atteint un certain degré d'usure. On a reproché à ces freins, lorsqu'ils sont à quatre sabots, d'exiger une grande précision dans la taille des sabots, pour que ceux-ci puissent être tous en prise à la fois. Cette objection est exacte; elle subsiste pour tous les freins dans lesquels chaque roue est pressée par deux sabots; mais dans ce cas-ci, il y a toujours un sabot qui porte en plein sur chaque roue, et qui, à défaut du second, lui transmet à lui seul toute la pression engendrée par l'action exercée sur l'appareil. Cet inconvénient est

en grande partie corrigé par la flexibilité des pièces de fer, qui compense plus ou moins, par le jeu qu'elles prennent, l'insuffisance de certaines longueurs. On a également reproché à ce frein d'avoir ses sabots attachés au châssis, qui se relève sur ses ressorts lorsque la provision d'eau et de coke s'épuise; mais nous avons déjà eu l'occasion de faire remarquer que les ressorts du tender, tout en ayant la plus grande sensibilité possible, ne devaient avoir qu'une flexibilité restreinte, c'est-à-dire que la flèche des ressorts en place ne devait varier que dans des limites assez étroites, suivant que le tender était vide ou plein. Le déplacement, par rapport aux roues, des sabots entraînés par le châssis est peu considérable, et lorsqu'on serre le frein, ces sabots, en emboîtant les roues, font relever ou abaisser momentanément le châssis, en déchargeant les ressorts ou en les comprimant, jusqu'à ce que leur contour s'applique exactement sur celui de la roue, si toutefois il n'y a pas dans le support assez de flexibilité, ou s'il ne porte pas même des articulations qui évitent ce déplacement du châssis; il peut tout au plus en résulter un léger surcroît d'usure pour les sabots, mais l'effet de l'appareil n'est affaibli en rien. Une dernière objection a seule quelque valeur: elle est relative à l'effort de torsion exercé sur l'essieu, dont les deux roues glissent sur le rail, lorsqu'une seule d'entre elles est serrée par les sabots du frein; mais il y a tout lieu de croire que les dimensions adoptées aujourd'hui pour la fabrication des essieux sont largement suffisantes pour résister sans altération à cet effort, car on ne signale pas, sur les nombreux tenders pourvus de freins construits d'après ce principe, des ruptures d'essieux qui puissent être attribuées à cette cause.

On a adopté dans beaucoup de circonstances un autre système de frein, dans lequel on s'est appliqué à rendre tout le système indépendant du châssis. Les *fig. 1 à 4 de la pl. 48* indiquent les divers détails de construction de ce frein: le chauffeur exerce son action sur une manivelle appliquée à la partie supérieure d'une tige verticale, filetée à sa partie inférieure et maintenue par un guide qui la laisse tourner librement, mais qui s'oppose à tout

déplacement vertical. La vis s'engage dans un écrou monté à pivot sur un levier en forme d'étrier (*fig. 4*), venu de forge sur un arbre horizontal très-court, fixé sur la traverse d'avant du tender et portant un second bras de levier, à angle droit avec le premier et plus court que lui (*fig. 3*); ce dernier levier reçoit une longue bielle, qui agit par l'extrémité opposée sur le système des sabots; cette bielle étant très-longue et presque horizontale, le jeu des ressorts est sans influence sensible sur le frein. Une barre placée de champ et terminée par deux fourches qui embrassent un appendice ménagé à cette effet sur chaque boîte à graisse (*fig. 3, pl. 48 et fig. 3 et 4, pl. 47*), sert de *guide* aux sabots du frein; ceux-ci sont appliqués au moyen de vis sur un *support* en deux parties (*fig. 4, pl. 48*), qui embrasse le guide et qui reçoit par articulation les bielles commandant les sabots. Le même système est appliqué de chaque côté du tender, et les guides servent de support à un arbre en fer qui reçoit l'action de la vis par l'intermédiaire d'un grand levier, et le transmet aux bielles de pression par l'intermédiaire de quatre petits leviers, opposés deux à deux (*fig. 3 et 4, pl. 48*). Les bielles de pression sont assemblées à fourche et au moyen d'un boulon sur l'extrémité des leviers correspondants; elles peuvent être assemblées à deux longueurs différentes pour compenser l'usure des sabots. Pour remédier à l'inégalité d'usure des sabots, entre deux réparations, on donne plusieurs millimètres de jeu aux tourillons de l'arbre, dans l'œil que porte chacun des guides qui le reçoivent.

Ce second système de frein est d'une construction plus coûteuse que le premier; il a l'inconvénient de ne presser chaque roue que d'un côté et de reporter toute la pression sur la boîte à graisse et sur le coussinet; il ne détruit que partiellement l'effort de torsion auquel sont soumis les essieux dans le premier système, car l'arbre de transmission, dont les dimensions sont toujours assez restreintes, est lui-même susceptible de se tordre de quantités appréciables, et il n'y a incontestablement qu'une partie de l'effort appliqué sur le grand levier, qui soit transmis aux sabots commandés par l'extrémité de l'arbre. Il y a tout lieu d'admettre

que, lorsqu'on en a fait l'application, on a sacrifié la simplicité et l'efficacité des dispositions antérieures à un principe théorique d'une importance très-restreinte, celui de l'indépendance du frein et du châssis. Ce principe, qui peut être appliqué utilement aux voitures dont les ressorts doivent avoir et doivent conserver, même pendant le serrage des freins, une grande élasticité, ne nous paraît pas avoir le même degré d'utilité pour ce qui concerne les tenders.

Différentes modifications ont été apportées à ce dernier système de freins; nous signalerons entre autres celles que représentent les *fig. 1 et 2 de la pl. 45*. La vis commande un arbre qui règne sur toute la largeur du châssis, et qui porte à chaque extrémité un petit levier agissant sur une bielle; chaque bielle s'applique sur le milieu d'un balancier qui commande par son extrémité inférieure le sabot de la roue d'avant, et par son extrémité supérieure une bielle de renvoi; les deux balanciers sont réunis par une barre transversale qui sert d'entretoise et de point d'application aux bielles de commande, que les roues empêchent de placer dans le même plan que chaque levier. Chaque bielle de renvoi agit sur l'extrémité supérieure d'un levier pareil à celui qui la commande; ce levier s'appuie à son milieu sur une petite bielle articulée sur le châssis, et agit à son extrémité inférieure sur le sabot de la roue d'arrière. Les sabots sont fixés sur des supports appliqués sur le guide ordinaire. Ce frein est, comme le précédent, indépendant du châssis, et il fonctionne, comme le premier frein que nous avons décrit, indépendamment de l'usure des sabots. Il peut être employé avec avantage pour des machines dont tous les détails doivent être parfaitement soignés, comme les machines Crampton auxquelles on l'a appliqué; mais, dans la plupart des cas, le premier système répondra suffisamment à tous les besoins.

La *fig. 3, pl. 49*, indique, pour un tender à six roues, une disposition analogue à la précédente; la bielle qui transmet l'action de la vis agit sur un petit balancier qui répartit l'effort sur les leviers des sabots, indépendamment de l'usure de ceux-ci. Le même balancier a été employé pour éviter l'influence de l'iné-

galité d'usure des sabots sur un tender à quatre roues. On fixe, sur les guides, deux arbres de transmission au lieu d'un seul, et les leviers qui commandent ces arbres sont attachés aux extrémités d'un petit balancier qui reçoit, à son centre, l'action de la bielle de commande; chacun des arbres de transmission commande les deux sabots d'une même paire de roues.

Nous devons enfin signaler l'application qui a été faite du mécanisme du *cric* ordinaire, pour remplacer la vis : la tige verticale qui porte la manivelle est montée sur l'axe d'un pignon, ce pignon engrène avec une roue dentée, qui commande un pignon calé sur le même arbre, engrenant lui-même avec une crémaillère fixée à l'extrémité de la bielle de transmission. Cette disposition permet de serrer le frein plus rapidement qu'avec la vis, mais elle exige l'emploi d'un *rochet* pour maintenir le serrage, sans l'intervention de l'homme qui fait la manœuvre, lorsque les roues sont arrêtées; en outre, lorsqu'une dent de la crémaillère ou du pignon vient à se briser pendant le serrage du frein, il faut démonter tout l'appareil pour le desserrer complètement.

Enfin on emploie sur quelques lignes des freins à vapeur, qui sont alors placés non plus sur le tender, mais sur la machine, à proximité de la chaudière.

Quant aux freins à pression directe sur les rails, l'usage ne s'en rencontre que sur les lignes où les rampes ont une inclinaison exceptionnelle.

Les sabots de frein sont en bois de chêne ou de hêtre très-sec; on a quelquefois employé avec succès le peuplier blanc: il faut un bois qui ne soit pas trop dur et trop susceptible de se polir par le frottement, car une très-forte pression deviendrait nécessaire pour fixer les roues. Les sabots s'usent assez promptement, et pour éviter des réparations trop fréquentes, il faut se réserver, dans le tracé de leur construction, une marge de 0^m 10 à 0^m 12 pour l'usure.

Pour calculer le rapport des éléments d'un frein, il suffit de recourir aux éléments de la statique, en tenant compte de la longueur de la manivelle et des leviers, du pas de la vis, ou des

rayons des roues d'engrenage, si la transmission a lieu au moyen d'un *cric*, de l'angle des bielles de pression avec les leviers et avec la tige de la vis, si l'on adopte le premier système décrit, etc. Le *frottement* total des sabots qui agissent sur une même paire de roues, c'est-à-dire le produit de la pression exercée sur la roue normalement à sa circonférence, multipliée par le coefficient de frottement doit dépasser sensiblement l'*adhérence* ou le produit du poids correspondant à cette paire de roues par le coefficient de frottement des roues sur le rail, si l'on veut caler complètement les roues. On peut, à défaut d'expériences qui se rapportent directement au sujet, admettre pour les résultats numériques à introduire dans le calcul : 0,20 pour le coefficient de frottement des roues sur les rails, 0,30 pour celui des sabots sur les roues, et 25 kilog. pour l'effort exercé par un homme agissant à refus sur les bras de la manivelle.

CHAPITRE II.

Types spéciaux de machines.

La machine que nous venons de décrire, dont le tender est le complément obligé, est celle qu'on emploie le plus généralement, et qui, depuis 1830, n'a reçu que des améliorations de détail, et surtout des accroissements de dimensions qui paraissent avoir atteint, et quelquefois même dépassé, ce que comporte la résistance à l'usure des organes en contact, rails et bandages.

Cette machine, créée pour des parcours plus ou moins considérables, sur des chemins à pentes faibles et tracés avec des courbes d'un rayon favorable, pour des vitesses assez grandes et des charges modérées, paraît bien répondre à son but, et, à moins d'une modification radicale dans le système du matériel de trac-

tion, modification que rien n'autorise à prévoir, il ne semble pas qu'elle doive être supplantée, pour tout ce qui touche au service des voyageurs sur les grandes lignes, au service mixte des voyageurs et des marchandises, au service spécial de l'enlèvement des marchandises dans les gares intermédiaires; c'est la machine qui convient le mieux, d'une part aux longs parcours, sans arrêts fréquents pour renouveler l'eau et le coke, d'autre part, aux arrêts multipliés, qu'il faut abrégé par tous les moyens possibles, aux manœuvres dans les gares intermédiaires, pour prendre et laisser des wagons de marchandises; le tender porte de l'eau pour des parcours de 70 à 80 kilomètres pour les voyageurs et de 30 à 40 kilomètres pour les marchandises, du combustible pour plusieurs centaines de kilomètres. Les secousses et les ébranlements résultant d'arrêts et de démarrages fréquents ne font subir leurs effets que sur un boulon d'attelage facile à changer, et sur des traverses placées à l'arrière du foyer, isolées de tous les organes moteurs, qui restent moins exposés au dérangement de leur montage. Mais, en dehors de ces conditions qui peuvent s'appliquer à la plus grande partie des machines d'un même chemin de fer, il y a des nécessités ou des convenances de service qui ont fait adopter, depuis quelques années, divers types spéciaux de machines, qui ne diffèrent pas de la machine ordinaire par la disposition ou le système des organes moteurs, mais qui s'en distinguent surtout par la combinaison qu'on a cherchée à faire du tender et de la machine, ou par la solidarité qu'on a été conduit à établir entre eux. Nous avons déjà dit quelques mots, à la fin du chapitre 1^{er} du livre II, de deux systèmes spéciaux de machines; nous allons entrer maintenant, avec plus de détails, dans l'examen de cette question.

Les circonstances qui ont influé sur la création de ces types spéciaux sont très-multiples, et quelquefois se sont des motifs entièrement différents qui ont conduit à une même combinaison. Parmi ces motifs on peut mentionner : le petit rayon des courbes, la forte inclinaison des rampes, l'économie du poids mort, l'augmentation de la puissance, soit par l'adhérence, soit par l'aug-

mentation de la surface de chauffe, soit par ces deux éléments combinés; l'inutilité d'un grand approvisionnement d'eau et de coke pour les petits parcours : la facilité de manœuvres dans les gares, etc.

Un premier type spécial, le plus ancien et peut-être le plus généralement employé, lorsqu'on prend dans leur ensemble tous les chemins de fer du monde entier, est le type *américain*. La roue d'avant des machines ordinaires est remplacée par un avant-train, à 4 roues montées sur un châssis spécial, mobile autour d'une cheville ouvrière, placée un peu en avant de son propre centre de figure. Lorsque les machines n'avaient encore qu'une faible puissance, une seule roue motrice, en avant du foyer, complétait le système des roues; la machine américaine reçoit, toujours ou presque toujours maintenant, deux paires de roues motrices accouplées entre elles, et placées toutes les deux en avant du foyer, ou l'une en avant et l'autre en arrière. La bielle motrice agit en général sur l'essieu d'arrière.

Ces machines qui paraissent bien appropriées à des chemins établis avec des courbes de petit rayon, construits très-imparfaitement et ne comportant, par l'ensemble de leurs conditions d'établissement, qu'une faible valeur et un faible trafic, ont été adoptées exclusivement aux États-Unis; et y sont peut-être encore sans rivales, soit à cause de l'état des chemins de fer, soit par habitude, soit par la préférence qui s'attache à une invention nationale. En Europe, où ces machines avaient été adoptées avec une assez grande faveur dans certains États, même sans que la préférence qu'elles obtenaient fût motivée par le petit rayon des courbes, elles tendent à disparaître, remplacées par des machines du système ordinaire ou d'un nouveau type que nous décrirons avec quelque détail, la *machine Engerth*.

La machine américaine offre deux inconvénients sérieux; outre la position des cylindres qui doivent être fortement inclinés; les roues d'avant ne peuvent pas être accouplées, et on perd l'adhérence qui serait due à une partie importante du poids de la machine; en second lieu, ces machines ne peuvent pas prendre sans danger une vitesse un peu considérable, une vitesse qui excède

45 à 50 kilomètres à l'heure ; les quatre roues d'avant sont trop petites et l'avant-train manque de stabilité, tant à cause du peu d'écartement des points d'appui sur les rails, qu'à cause de la faible excentricité de la cheville ouvrière par rapport au centre du châssis. Ces inconvénients sont encore plus nuisibles pour la marche en arrière. On ne pourrait recommander les machines américaines que pour un chemin peu fréquenté, à faibles pentes, mais tracé dans une vallée très-sinueuse avec courbes répétées d'un rayon inférieur à 250 ou 300 mètres.

Pour mentionner en passant, et sans nous assujettir à l'ordre chronologique, un type très-intéressant, sur lequel nous reviendrons d'ailleurs, nous citerons la *machine Verpilleux*, sortie des mains d'un constructeur très-ingénieur, machine abandonnée sous sa forme primitive, mais qui a donné naissance à un système employé sur une assez grande échelle.

La machine, portée sur quatre roues, comprend la chaudière et une paire de cylindres moteurs ; le tender porte également une paire de cylindres qui reçoivent la vapeur de la chaudière, par l'intermédiaire d'un tuyau articulé. Cette disposition n'a pas précisément pour objet d'augmenter la puissance de l'appareil moteur, car celle-ci est limitée par les dimensions de la chaudière, et, en doublant le nombre des cylindres, on est conduit naturellement à réduire leur capacité ; elle a pour objet d'augmenter l'adhérence de tout le frottement dû au poids du tender, et de rendre possible l'emploi de roues d'un très-petit diamètre, ce qui permet à puissance égale, et moyennant une réduction de vitesse, de remorquer des charges considérables. Cette disposition était parfaitement appropriée au chemin de fer de Saint-Etienne, qui offre une rampe continue de 14 m/m par mètre à partir de Rive-de-Gier, et qui avait, à cette époque, des rails très-légers, constamment couverts de poussière ou de boue provenant du tamisage de la houille à travers le plancher des wagons.

Les machines du chemin de fer de Sceaux, ne constituent pas, à proprement parler, un système de machines ; elles sont en quelque sorte l'ajustement des machines ordinaires à un système de

chemin de fer et de véhicules particuliers. Une roue motrice ou deux roues motrices accouplées, placées sous le corps cylindrique de la chaudière, fonctionnent comme dans le système ordinaire ; en avant et en arrière, un essieu, mobile autour d'une cheville ouvrière et guidé par le système des galets directeurs, porte la partie correspondante de la machine ; en donnant à la jante des roues motrices, qui n'ont plus besoin de boudins, une largeur suffisante, en profitant largement du glissement des bandages sur les rails, qui ne produit pas en réalité toute l'usure à laquelle on aurait pu s'attendre, on fait passer ces machines, avec assez d'aisance, dans des courbes de très-petit rayon, jusqu'à 30 mètres et au-dessous.

Les deux types qui nous occuperont spécialement sont la *machine-tender* et la machine Engerth, à l'occasion desquelles nous entrerons dans quelques détails plus circonstanciés.

La machine-tender est adoptée dans trois circonstances principales :

- 1^o Comme machine de banlieue ;
- 2^o Comme machine de gare ;
- 3^o Comme machine de rampe.

Dans le premier cas, il importe de réduire la longueur des trains ; il importe de faciliter et d'abréger les manœuvres des gares extrêmes, soit en évitant de tourner les machines et tenders sur les plaques tournantes, soit en se dispensant de tourner les machines sur des plaques de très-grand diamètre (pour machine et tender), soit en réduisant dans le rapport de deux à un, les manœuvres à faire sur les plaques ordinaires, les trajets étant d'ailleurs très-courts, de telle sorte que les machines n'aient besoin de renouveler leur approvisionnement qu'aux extrémités du parcours, on peut réduire de beaucoup la capacité du réservoir d'eau et du magasin à coke, remplacer le tender par des caisses à eau placées sur la machine, et ménager un petit emplacement pour quelques hectolitres de coke.

Cette disposition ne change rien au mode de construction des machines, et dans la plupart des cas les machines-tender affectées au service de banlieue sont des machines ordinaires transfor-

mées. Le mode de transformation peut varier suivant la disposition de la machine et la répartition du poids sur les essieux ; on s'applique, en mettant l'eau vers l'avant, au milieu ou à l'arrière, à obtenir une bonne répartition de poids sur les essieux ; il n'y a à cela aucune difficulté pour les machines dont il est question en ce moment, parce que ces machines sont en général légères, ou parce que l'addition de poids à leur faire est peu considérable. Les *pl.* 72 et 73 donnent un exemple de machines-tender pour trains de banlieue.

On a cherché à généraliser l'emploi des machines-tender et à en faire le type uniforme du matériel des grandes lignes. A la discussion, cette combinaison a du être écartée pour les machines à marchandises à 6 roues accouplées, dont il aurait fallu exagérer le poids ou réduire la puissance (nous verrons plus tard ce que permet de faire l'emploi de 8 roues accouplées) ; l'expérience paraît l'avoir condamnée pour les machines mixtes ou les machines à roues indépendantes à employer pour les services de grand parcours. Les ingénieurs qui ont cherché à entrer dans cette voie ont été entraînés fatalement à donner une charge exagérée aux roues motrices, charge dont l'intensité et la répartition varient d'ailleurs suivant que le réservoir à eau est plein ou vide ; en même temps on a été conduit à réduire, au delà de ce qui était convenable, la capacité de ce réservoir. Cela résulte de ce que, dans les conditions actuelles de l'exploitation des chemins de fer, même à pentes faibles, les 10 à 11 tonnes de charge sur les rails qu'il convient de ne pas dépasser pour chaque essieu, ou les 30 à 32 tonnes disponibles pour les trois essieux, suffisent à peine pour qu'on puisse donner à tous les organes de la machine les dimensions et le poids correspondant à la puissance voulue ; pour ces machines, tant que le nombre des essieux est limité à trois sous la machine même, il ne reste plus de marge pour loger l'eau, le coke, les outils, c'est-à-dire, sans compter le poids des caisses à eau, un surcroît de poids de 6 à 7,000 kilogrammes. Toute l'attention des ingénieurs, dans la construction des machines du système ordinaire, pour le service des grandes

lignes, doit désormais se porter sur le meilleur agencement des organes moteurs, en vue d'assurer une répartition sensiblement égale du poids admissible. Nous ne mentionnons pas ici comme type de machines-tender certaines machines à voyageurs de la ligne de Paris à Rouen et du chemin de fer du Midi qui portent sur le tender leur coke et une fraction de l'eau, le réservoir à eau principal étant placé sous le wagon à bagages ; c'est un arrangement ingénieux pour obvier à certaines difficultés, mais ce n'est pas un système.

En ce qui concerne les machines affectées au service des voyageurs, sur les lignes ordinaires, la machine-tender n'offre donc d'applications convenables que pour le service de banlieue ; et dans ce cas là même, lorsque les trains de banlieue ne sont qu'un accessoire, comme sur la plupart de nos grandes lignes, mieux vaut ne pas avoir un matériel spécial. Aussi la plupart des machines-tender que nous voyons affecter à ce service sont-elles d'anciennes machines transformées.

Le véritable emploi du système de la machine-tender est pour les *machines de gare*.

Ces machines ont été combinées en vue de satisfaire à une double condition : pénétrer dans toutes les parties des gares de marchandises, à l'aide des plaques tournantes établies pour les wagons, offrir une grande puissance de traction et surtout de démarrage. La machine-tender répondait seule à la première condition du problème ; il n'y avait d'ailleurs besoin que d'un faible approvisionnement d'eau et de coke. Les roues ont été rassemblées sous le corps cylindrique de la chaudière, entre la boîte à feu et la boîte à fumée, serrées les unes contre les autres, et autant que possible chargées d'un poids égal ; enfin on a adopté des roues d'un petit diamètre (1,10 et même 1,06), donnant la puissance au démarrage nécessaire, et appropriées d'ailleurs à la condition essentielle de tout service de gare, la marche à petite vitesse. L'emploi de ces machines est devenu très-général sur les chemins de fer français où on en tire un très-utile parti, pour l'entrée en gare des trains arrivant, pour la répartition des wagons

sur les voies de déchargement, pour l'enlèvement des wagons chargés, pour leur remisage sur les voies destinées à cet usage, pour l'approche des wagons à charger, pour la formation des trains partant; etc.

La pl. 74 donne le dessin d'ensemble d'un des types le plus généralement adoptés.

Le troisième cas est celui où la machine-tender est adoptée surtout à cause de la réduction de poids mort qu'elle procure; poids mort qu'on peut considérer comme équivalent à un wagon chargé. La formule de cette application de la machine-tender n'est pas très-nette; on trouve bien en Angleterre quelque cas d'emploi de machines ordinaires, arrangées en machines-tenders pour le renfort sur les plans inclinés; mais les cas d'application *systématique* de la machine-tender aux chemins à fortes rampes se présentent avec des circonstances additionnelles qui exigent une description spéciale pour chacun. Ces cas se réduisent à deux, également dignes d'intérêt par l'importance déjà constatée ou probable des applications:

Par ordre chronologique nous citerons les machines du chemin de fer de Gènes à Turin, construites pour assurer le service des rampes de 35 $\frac{m}{m}$ par mètre des Giovi, à la traversée des Apennins; machines appliquées depuis au Victor-Emmanuel, dont le parcours offre à plusieurs reprises des pentes de 30 millimètres par mètre. La formule de ce système est le développement du système Verpilloux; au lieu d'avoir une seule chaudière, de dimension nécessairement limitée, fournissant de la vapeur aux cylindres accolés à ladite chaudière; en même temps qu'à des cylindres placés sur le tender; comme le faisait Verpilloux, on a reporté la moitié du tender sur la chaudière et la moitié de la chaudière sur le tender; on a fait ainsi deux machines-tender accouplées dos à dos, de manière à ne faire qu'une seule machine, conduite par un seul mécanicien et un seul chauffeur; ces machines devaient être *chacune à 4 roues*, afin qu'elles pussent passer dans des courbes de très-petit rayon; et les roues devaient être d'un très-petit diamètre, afin que la puissance de traction fût considérable; l'en-

semble de ces combinaisons en faisait une machine à huit roues, articulée librement au milieu, pouvant remorquer dans des courbes de très-petit rayon des charges très-lourdes, en marchant à petite vitesse. Cette formule, produite à l'occasion du concours du Semmering, et communiquée par l'un des auteurs du *Guidé* au gouvernement piémontais, qui cherchait à cette époque une solution pour les plans inclinés des Giovi, avait été, à la même époque, et même quelques mois plutôt, imaginée par M. Sommeiller, ingénieur des ponts et chaussées à Turin. Cette disposition offre sur celle de Verpilloux, l'avantage de donner à la chaudière, par sa division en deux, une puissance plus considérable, et de permettre la décomposition de la machine et l'application de chacune de ses parties au service ordinaire, soit seule, soit accouplée avec un tender.

Dans ce système, l'emploi de machines élémentaires à 4 roues n'est motivé que s'il y a des courbes de petit rayon à franchir; si le tracé admet des machines à 6 roues accouplées, en accouplant dos à dos de la même manière deux machines à 6 roues, on augmentera la puissance de l'ensemble, en même temps qu'on réduira à des proportions plus convenables la charge des rails au contact des roues. On pourrait, au besoin, se servir de machines ordinaires, sans réservoir à eau et à coke, en interposant entre elles un tender commun porté sur 4 roues; cette combinaison a été signalée, comme développement de la formule empruntée à la machine Verpilloux, aux ingénieurs du chemin de fer de Rhône-et-Loire. Le problème à résoudre est toujours le même: remonter à Saint-Etienne, à vide ou incomplètement chargés, les wagons à houille, et descendre les mêmes wagons, à charge pleine, sur un profil composé de 3 parties: 1° de Lyon à Givors, pentes et contre-pentes de 1 à 2 $\frac{m}{m}$; de Givors à Rive-de-Gier, pente continue de 6 $\frac{m}{m}$; de Rive-de-Gier à Saint-Etienne pente continue de 14 $\frac{m}{m}$ par mètre; des machines à six roues accouplées de 30 à 33 tonnes à charge, qui marcheraient seules de Givors à Lyon, en traînant, sur les rampes de 1 à 2 millimètres, une quarantaine de wagons chargés de 10 tonnes; monteraient isolément le

même nombre de wagons vides ou peu chargés sur la rampe de 6 ^m/_m de Givors à Rive-de-Gier ; de Rive-de-Gier à Saint-Etienne, sans être décomposé, le même train serait remonté sur la rampe de 14 ^m/_m par les mêmes machines, mais accouplées deux à deux et dos à dos, par l'entremise d'un tender à 4 roues commun, et sous la conduite d'un mécanicien et de deux chauffeurs, dont un manœuvrant le régulateur de la seconde machine sous la direction du mécanicien.

Nous entrons dans ces détails un peu spéculatifs pour bien faire comprendre le but de cette combinaison et les ressources qu'elle peut offrir dans certains cas ; elle est très-probablement préférable à la machine Engerth, dont nous parlerons tout à l'heure, pour les cas analogues à ceux du Semmering et des Giovi, ou tout au moins elle permet, en partant de l'idée du tender commun qui vient d'être énoncée, d'augmenter encore les ressources du système Engerth.

Le second cas d'application des machines-tender est celui des machines à huit roues accouplées que la compagnie du chemin de fer du Nord fait exécuter, pour le service des fortes rampes de ses embranchements.

M. Petiet, en les étudiant, a cherché à faire des locomotives aussi légères que possible, tout en ayant comme production de vapeur une puissance suffisante pour utiliser l'adhérence d'un poids brut total de 39 à 40 tonnes également réparti sur les 4 essieux. — En adoptant des roues d'un petit diamètre, il a pu accoupler 4 essieux sans exagérer l'écartement entre les axes extrêmes.

Il a pu surtout élargir la boîte à feu, dont la partie inférieure est au-dessus des roues. Enfin la réduction du diamètre des roues a eu pour but de réduire d'autant le poids de celles-ci.

Le réservoir d'eau est placé entre les châssis et le corps cylindrique de la chaudière.

Ces locomotives sont destinées à faire le service sur des inclinaisons de 10 et de 18 millimètres par mètre.

Si on accouplait deux de ces locomotives, elles pourraient re-

morquer facilement des trains de marchandises fortement chargées sur des rampes de 25 à 30 et même 35 millimètres par mètre.

Cette machine est représentée *pl. 76, fig. 2 et 3.*

La machine Engerth a été combinée par M. Engerth, ingénieur autrichien, actuellement chargé de la direction de l'exploitation technique des lignes de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État. — M. Engerth, qui avait pris part, comme l'un des commissaires du gouvernement, au concours du Semmering en 1852, avait eu l'occasion d'étudier de près tous les systèmes présentés par différents constructeurs, et dont aucun ne répondait aux exigences du service courant.

Le concours achevé et resté sans résultat pratique, il a conçu et étudié un projet qui a obtenu l'assentiment du gouvernement, et qui a été mis à exécution immédiatement. Ce nouveau système résolait la question du Semmering, mais il répondait en même temps à des besoins bien constatés du service dans les conditions ordinaires de tracé. Il a été promptement adopté par un grand nombre d'administrations en Allemagne et en France.

La question à résoudre pour le Semmering était d'obtenir à la fois, en une seule machine, une puissance de traction considérable, et de mettre la machine en état de travailler dans des courbes de 180^m de rayon. — M. Engerth a réuni le tender à la machine, en lui faisant porter une partie du poids de celle-ci, et il a établi, par un engrenage, la liaison entre les roues du tender et celles de la machine, de manière à faire concourir les premières à l'adhérence. — L'engrenage est un élément qui complète la machine Engerth, mais dont la non-application la laisse cependant subsister comme type spécial.

En effet, en plaçant une paire de roues du tender en avant du foyer de la machine, en plaçant, par conséquent, le boulon d'attelage sous le corps cylindrique ; en faisant reposer la masse du foyer sur les longerons du châssis du tender, on a pu immédiatement donner au foyer des dimensions inusitées jusque-là, augmenter également la surface de chauffé des tubes. — C'est là le principe essentiel du nouveau type qui l'a fait adopter d'une manière si générale.

Au moment où la machine Engerth a fait son apparition, les ingénieurs cherchaient en vain à augmenter la puissance des machines à marchandises par le développement de la surface de chauffe utile. Si, pour supporter convenablement le foyer, on reportait un des trois essieux en arrière, on arrivait à surcharger les deux paires de roues antérieures, sans charger suffisamment les roues d'arrière; si l'on mettait au contraire le foyer en porte à faux, l'essieu d'arrière se trouvait placé dans des conditions de surcharge difficilement acceptables, et, dans aucun cas, on ne pouvait songer à arriver à une surface de chauffe bien proportionnée, atteignant et dépassant même 150 mètres carrés. — En venant embrasser le foyer entre les longerons du tender, dont l'attache à la machine était reportée près de l'essieu d'arrière de celle-ci, M. Engerth faisait tomber immédiatement cette difficulté, car l'excès de poids de la chaudière venait reposer sur le tender, et la charge des roues spéciales de la machine pouvait être réduite à une limite convenable. C'est à cette considération qu'a été due surtout la prompte introduction du nouveau système en France, où elle a permis de baser le trafic des marchandises sur la composition de trains excédant 400 tonnes de charge utile.

L'attelage du tender étant reporté en avant du foyer, les trois paires de roues placées sous le corps cylindrique, dans les machines à six roues directement accouplées, se trouvent très-rapprochées; le tender est porté sur quatre roues, la provision d'eau étant emmagasinée dans des caisses accolées au corps cylindrique de la chaudière, ou bien sur six roues, dont quatre sous la caisse à eau d'un tender ordinaire, également très-ramassées. Le châssis de la machine prise dans son ensemble est donc brisé vers son milieu, supporté par deux trains de roues offrant chacune peu d'écartement entre les essieux extrêmes, de telle sorte que la machine peut circuler avec facilité dans les courbes de petit rayon.

L'emploi des engrenages, qui constitue une des innovations de M. Engerth, convient à l'exploitation du Semmering, où la pente est de 25 millimètres par mètre sur une grande longueur.

Trois engrenages de diamètre égal, l'un porté sur l'essieu d'arrière de la machine, l'autre sur l'essieu d'avant du tender, le troisième intermédiaire obligé pour faire que le mouvement de rotation des deux autres soit de même sens, sont placés assez près du point d'articulation pour qu'au passage des courbes leur montage ne soit pas sensiblement dérangé. — Exécutés en acier fondu, préservés autant que possible par une enveloppe, ces engrenages fonctionnent d'une manière assez satisfaisante, lorsqu'on a eu soin d'équilibrer complètement les pièces de la machine et de lui donner ainsi la plus grande stabilité possible.

En accouplant les roues du tender entre elles, on obtient une adhérence proportionnelle au poids total de la machine, jusqu'à 50 tonnes. En France, où il n'y avait pas utilité à aller jusqu'à cette limite, dans les premières machines à grande puissance construites sur le système Engerth, on s'était contenté de faire concourir à l'adhérence le premier essieu du tender, par le système des engrenages, mais sans y ajouter, par des bielles d'acplement, les autres essieux du tender. — Cette disposition a conduit M. Schneider à une modification très-heureuse qui a complété le système Engerth, en l'appropriant tout à fait aux besoins d'exploitation et aux conditions de construction des chemins de fer français.

M. Schneider a détaché du tender son premier essieu, placé, comme on l'a dit, en avant du foyer de la machine; il l'a attaché au châssis de la machine, et a fait de la partie antérieure du longeron du châssis du tender deux brancards qui viennent reposer sur le châssis de la machine, à l'aplomb de sa quatrième paire de roues, comme les brancards d'une charrette reposant sur un treuil. Les extrémités de ces deux brancards sont réunies, comme d'habitude, par une traverse qui porte le boulon d'attelage, et qu'il suffit de démonter lorsqu'on veut séparer le tender de la machine.

Cette machine Engerth modifiée a donc, à l'instar de la machine de M. Haswell de Vienne, que l'on a remarquée à l'exposition universelle de 1855, quatre paires de roues accouplées par

des bielles, rendues solidaires par le même châssis, celui de la machine, et pouvant utiliser l'adhérence due à son poids, jusqu'à concurrence de 40 tonnes environ. — Elle est adoptée sur plusieurs chemins comme type de machine à marchandises pour les longs parcours et les gros transports. Cette machine peut traîner couramment 45 wagons chargés chacun de 10 tonnes utiles, sur des chemins offrant des pentes maxima de 5 millimètres par mètre.

On peut ranger en trois types distincts les machines Engerth exécutées jusqu'ici : machines à 4 roues accouplées de grand diamètre, servant de machines mixtes; machines à 6 roues accouplées, pour les transports ordinaires de marchandises; machines à 8 roues accouplées, pour les transports de marchandises à forte charge.

La différence entre les deux dernières catégories résulte du nombre de roues accouplées et du montant total de l'adhérence, que l'on règle suivant la différence des climats, plutôt que de la puissance motrice. Dans le nord de la France, on a généralement commandé des machines à 8 roues accouplées; sur le chemin de fer du Midi on s'est contenté de 3 paires de roues accouplées.

Les pl. 75 et suivantes donnent l'ensemble et quelques détails des machines de la première et de la troisième catégorie. A part la forme sphérique du boulon d'articulation, à part la forme hémisphérique des supports qui font reposer le foyer sur le châssis du tender, à part le système de glissières sur lequel reposent ces supports, organes destinés à permettre au tender de prendre par rapport à la machine, sans effort nuisible à la solidité des pièces, toutes les positions que comportent les inégalités de la voie et le rayon des courbes, la description détaillée de cette machine n'aurait qu'un intérêt assez restreint; il suffira, pour se rendre compte de l'agencement général, d'examiner attentivement les planches.

L'avantage de la machine Engerth est, ainsi que nous l'avons fait ressortir, de donner en une seule machine, gouvernée par un seul mécanicien et un seul chauffeur, une puissance considérable, résultant de l'augmentation de la surface de chauffe, particulièrement dans le foyer, rendue facile par le système même. Elle permet de remorquer des trains de marchandises considérables et

de faire une traction très-économique, lorsque le trafic comporte une charge habituellement proportionnée à la puissance des machines. Elle est encore employée sous forme de machine mixte à grandes roues, mais sans qu'il y ait de motifs de préférence bien évident, pour faire des trains omnibus de voyageurs à lourdes charges. Elle convient dans tous les cas pour le service des voyageurs et des marchandises sur les chemins tracés avec des courbes de petit rayon, descendant habituellement au-dessous de 250 à 300 mètres.

Mais dans le service des marchandises, qu'on pourrait appeler service de cueillette dans les stations intermédiaires, la machine Engerth ne paraît pas susceptible d'un emploi avantageux. Son grand foyer exige que la machine soit en marche et dépense la vapeur qui se produit, ou qu'elle soit au repos et bien capuchonnée, le feu couvert, le cendrier fermé, etc; elle consomme beaucoup trop pendant les manœuvres de gare, et en outre les chocs et contre-chocs qu'elle supporte dans ces manœuvres ébranlent son mécanisme, à proximité duquel se trouve le point d'attache du tender et de la machine.

Au point de vue de la construction et de l'entretien, ce type offre un inconvénient, auquel on n'a pas en général attaché assez d'importance pour en faire une fin de non-recevoir; c'est la difficulté de désassembler le tender de la machine. Cet inconvénient est d'ailleurs fort atténué dans la machine Engerth à 8 roues accouplées (type du Creuzot), car il suffit d'enlever les boulons de la traverse d'attelage, pour séparer le tender, sans être obligé à soulever la machine.

LIVRE IV

EXAMEN DE LA MACHINE LOCOMOTIVE PRISE DANS SON ENSEMBLE.

Nous avons accompli jusqu'ici la partie la plus facile de notre tâche, en exposant les principes sur lesquels reposent la construction et le jeu de la machine locomotive, en la décrivant pièces par pièces, il nous reste maintenant à examiner, à un point de vue général, quels sont les principes qui doivent présider à l'agencement général de cette machine, les conditions auxquelles il est nécessaire de satisfaire pour obtenir de l'ensemble des dispositions adoptées le service le plus efficace, le plus sûr et le plus économique. On ne peut pas se dissimuler que chaque constructeur n'a eu souvent d'autre guide que le sentiment mécanique des dispositions qu'il a réalisées, que d'autres fois il s'est laissé guider par des considérations qui lui étaient propres et auxquelles il a attaché plus d'importance que ne l'ont fait d'autres constructeurs. Aussi remarque-t-on des différences considérables entre les différents types de machines qui existent sur les chemins de fer en exploitation. Cependant il n'est pas impossible de dégager quelques préceptes généraux de la masse des faits que nous avons sous les yeux; quelques points de vue ont même donné lieu à des recherches qui ont jeté un grand jour sur des questions d'une importance capitale, entre autres sur les conditions de stabilité. Nous prenons la question telle qu'elle est, incomplètement étudiée; nous n'avons donc pas la prétention de la traiter à fond; sur beaucoup de points nous ne ferons que la poser. Nous pensons néanmoins qu'en entrant résolument dans les considérations de

cette nature, nous rendrons un service, ne serait-ce qu'en provoquant un nouvel examen et des études plus complètes. Nous commencerons par examiner les conditions générales auxquelles on doit satisfaire dans la construction d'une machine locomotive; nous examinerons ensuite les conditions de stabilité; nous donnerons un tableau général, aussi complet que possible, des dimensions réalisées dans un grand nombre de types, et, dans un dernier chapitre, nous tâcherons de résumer tous ces éléments en traitant la question du choix d'un système de machines. Ainsi que nous l'avons déjà dit, nous ne reculerons pas devant des répétitions qui auront pour résultat de nous faciliter l'exposition des sujets que nous avons à traiter.

CHAPITRE I^{er}.

Conditions générales de construction.

§ 1^{er}. — Poids des machines et des tenders.

Le poids du matériel doit être aussi faible que possible; c'est un principe élémentaire qu'il suffit d'énoncer, car tout le monde sait que les résistances à vaincre par l'action de la vapeur sur les pistons consistent, pour la plus grande partie, en frottements qui croissent avec le poids, et que toutes les fois que le tracé présente des inclinaisons ascendantes ou des rampes, la gravité intervient pour augmenter la somme des résistances; c'est surtout sur les profils accidentés qu'un excès de poids des véhicules devient nuisible. Le poids des tenders doit être surtout allégé autant que possible; c'est pour cela qu'on s'est appliqué depuis quelque

temps et dans plusieurs cas, à supprimer le tender comme véhicule spécial, en chargeant l'eau et le coke sur la machine même.

Il importe d'avoir égard à la répartition du poids des machines; en considérant l'ensemble de la machine, il faut que la plus grande partie de son poids soit supportée par les roues motrices pour l'adhérence, sur les roues d'avant pour la stabilité. Une machine lourde peut n'avoir qu'une charge modérée sur chacune de ses roues, une machine légère peut exercer une grande pression sur les rails si tout le poids repose sur quatre roues seulement et d'une manière inégale.

Lorsqu'on examine les conditions générales d'établissement d'une machine, toutes les questions s'enchevêtrent et réagissent les unes sur les autres. Pour ce qui concerne le poids des machines, on est limité dans les réductions qu'il faut lui faire subir par la nécessité de satisfaire à certaines conditions essentielles; une machine ne peut avoir une grande puissance de traction et une grande vitesse qu'à la condition d'avoir une grande surface de chauffe et, par suite, une lourde chaudière, des cylindres d'une grande dimension dans lesquels la vapeur peut agir par détente, des supports très-solides, etc. Une machine dans laquelle on sacrifie la vitesse à la puissance de traction doit avoir une grande adhérence, et il ne suffit pas toujours pour cela d'accoupler les roues, il peut être avantageux de ne pas descendre au-dessous d'un certain poids total, lors même que les nécessités de la construction le permettraient; le profil du chemin, le mode d'établissement de la voie de fer doivent être pris en grande considération, car la fréquence des rampes, leur forte déclivité peuvent conduire à négliger certains avantages de construction pour restreindre la résistance due à la gravité; la faible dimension des rails, l'écartement des traverses peuvent enfin imposer des limites pour la charge à faire porter sur les roues.

On ne saurait donc poser de règles absolues à cet égard. En consultant les faits réalisés jusqu'à ce jour, on peut admettre que des machines à voyageurs de 27 à 28 tonnes (y compris le poids de l'eau et du coke), montées sur six roues, ne portant sur l'essieu d'arrière, ou sur celui du milieu si les roues motrices sont à l'arrière,

que 7 à 8 tonnes, chargées de 9 tonnes environ sur l'essieu d'avant et de 10 à 11 tonnes sur l'essieu moteur (y compris le poids des roues elles-mêmes), sont dans de bonnes conditions pour un chemin de fer dont les rails pèsent 37 à 38 kilog. par mètre courant, et sont portés par des traverses espacées en moyenne de 80 à 90 centimètres. Pour le même chemin, des machines à quatre roues accouplées, et des machines à marchandises à six roues accouplées peuvent peser de 30 à 33 tonnes, si la charge est également répartie sur les trois essieux principaux. Il peut y avoir un grave inconvénient à atteindre ces limites si le poids des rails n'excède pas 30 kilogrammes par mètre courant. La dimension des rails et l'écartement des supports ne limitent pas seuls la charge des roues; il faut également avoir égard aux bandages qui s'écrasent et se laminent sous un excès de charge. A ce point de vue, un poids de 12 tonnes par paire de roues est une limite qu'il convient de ne pas dépasser pour des roues cerclées en fer.

Quoi qu'il en soit, le constructeur ne doit jamais perdre de vue que le poids des pièces doit être réduit à sa plus simple expression; tout excès de poids dans la construction d'une pièce, lorsqu'il n'est pas justifié par un motif de solidité, d'augmentation de puissance ou d'économie de fabrication, est une faute. Lorsque le poids tend à devenir trop considérable, il peut y avoir lieu de sacrifier quelque chose sur ces conditions; s'il est nécessaire d'atteindre une certaine limite de poids, au delà de ce que nécessite la construction elle-même, il faut l'obtenir en augmentant les dimensions de la chaudière, afin d'en profiter pour améliorer les conditions de vaporisation et d'économie du combustible, ou en augmentant la dimension des pièces dont le remplacement est le plus dispendieux et entraîne les chômages les plus longs.

Les machines construites par M. Buddicom pour le chemin de fer de Rouen, qui peuvent être étudiées avec fruit dans la plupart de leurs détails, sont surtout remarquables pour leur légèreté, qui dépasse de beaucoup celle de la plupart des machines qui travaillent dans les mêmes conditions; les premières machines du chemin de fer de Paris à Rouen ne pesaient vides que 14,000 kilog; celles

du chemin de fer du Havre et de plusieurs autres chemins, qui ont été établies plusieurs années après, par le même constructeur, ne dépassaient pas 15 tonnes.

§ 2. — Entretien et durée.

Dans la construction des machines locomotives, à un degré plus prononcé peut-être que dans beaucoup d'autres machines, il importe d'arriver à une grande simplicité de formes et à une grande solidité, autant que le permettent les autres conditions à remplir, et notamment la nécessité de ne pas dépasser certaines limites de poids. Si l'on tient compte du prix d'achat des machines et du loyer des capitaux nécessaires pour leur premier établissement, on reconnaît qu'il ne suffit pas, par la simplicité des dispositions, d'obtenir la plus grande économie dans les dépenses de réparation, qu'il faut, par la solidité des pièces et par la facilité des réparations, arriver à maintenir les machines en état de service pendant un temps aussi long que possible; qu'il faut en outre obtenir dans un temps donné le service le plus actif possible. En effet, une machine ordinaire avec son tender coûte actuellement environ 60,000 francs (une machine Engerth dépasse 100,000 francs), elle fait au maximum et en moyenne 25,000 kilomètres par an, et peut fournir un parcours total de 300,000 kilomètres avant qu'il devienne nécessaire, par suite de son degré d'usure, de la reconstruire à neuf, et de lui appliquer une dépense générale qui pourra être de 30 à 40,000 francs, déduction faite de la valeur des vieux matériaux vendus ou rentrant dans la construction nouvelle. Bien qu'on manque encore de données bien positives sur la durée des machines, on remarque cependant qu'un certain nombre de machines anciennes ont été mises hors de service ou sont devenues insuffisantes comme vitesse et comme puissance de traction, après des parcours d'environ 200,000 kilomètres; mais on peut raisonnablement admettre que les machines construites depuis une dizaine d'années fourniront un parcours total de 50 p. 0/0 supérieur, soit les 300,000 kilomètres ci-dessus, jusqu'au moment où il sera opportun

dé les remplacer ou de les refaire à neuf. L'intérêt à 5 p. 0/0 du prix d'achat des machines représente donc une dépense annuelle de 3,000 fr. par machine, soit de	0 fr. 10 c.	par kilomètre parcouru;
les frais de renouvellement..	0 10	d°
les frais d'entretien et de réparation	0 25	d°

Soit en total..... 0 fr. 45

ou pour un chemin de fer comme celui du Nord, en ne supposant qu'un parcours annuel de 9,000,000 de kilomètres, une somme totale supérieure à 4,000,000 fr. par an. Si l'on peut, par la bonne construction et la solidité des machines, par la bonne disposition des pièces, arriver à leur faire fournir un service annuel plus considérable, à les faire durer plus longtemps et à rendre les réparations moins coûteuses, on réalisera un bénéfice considérable.

Nous avons insisté sur cette question en cherchant à la préciser par des chiffres résultant à la vérité d'hypothèses; mais qui ne peuvent pas différer très-notablement de la vérité, parce qu'on ne se rend pas toujours un compte suffisamment exact de son importance; lorsqu'il s'agit de commander des machines, on discute avant tout sur le prix; le choix d'un constructeur ou d'un système de machines repose généralement sur des différences de prix qui n'ont aucune espèce d'intérêt à côté des conséquences que peut entraîner une mauvaise disposition; une construction peu soignée ou l'emploi de matériaux de médiocre qualité. Cette importance nous paraît assez grande pour que nous entrions à ce sujet dans de plus grands développements, en discutant chacun des éléments qu'il faut prendre en considération.

1° CROIX DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION: — Les matériaux employés dans la construction des machines sont le fer, la fonte, le cuivre, le bronze, le laiton et l'acier; le bois et diverses autres matières n'y figurent qu'accessoirement. Le tableau suivant, extrait du travail de MM. Valerio et de Brouville sur la première machine

à voyageurs du chemin de fer du Nord, indique la répartition en poids de ces diverses matières, déchets non compris.

NATURE DES MATÉRIEAUX.	CHASSIS ET SUPPORTS.	MÉCANISME.	CHAUDIÈRE.	TOTAL.
	kil.	kil.	kil.	kil.
Fonte.....	1,257,0	2,454,0	42,0	3,713,0
Fer forgé.....	4,769,9	974,7	1,625,4	7,370,0
Tôle.....	1,322,5	"	2,995,8	4,318,3
Acier.....	410,0	150,5	15,1	605,6
Cuivre rouge.....	"	424,0	786,8	910,8
Laiton.....	6,0	5,6	1,437,5	1,449,1
Bronze.....	81,6	405,6	238,6	725,7
Bois et divers.....	335,5	47,5	138,5	491,5
TOTAUX.....	8,192,5	4,109,9	7,299,7	10,602,1

Au moyen de ce tableau, qui s'applique à une machine moins lourde et moins coûteuse que celles qu'on établit maintenant, on peut se rendre compte approximativement de l'influence que peuvent avoir, sur le prix de revient d'une machine, les sacrifices que l'on ferait pour substituer à des matériaux de qualité moyenne des matériaux de première qualité. Des métaux de premier choix se travaillent mieux et plus facilement que des métaux de qualité inférieure, ils donnent lieu à des déchets moindres et d'une plus grande valeur vénale; les débris de pièces brisées ou usées ont également un prix supérieur lorsqu'on les revend; de plus, avec de bons matériaux, on peut arriver à une réduction de poids susceptible de compenser l'augmentation de prix; nous n'en tiendrons pas cependant compte, nous n'aurons égard qu'à la différence du prix d'achat des matières premières, du fer et de la tôle sortant de la forge, de la fonte et du bronze sortant de la fonderie, du cuivre et du laiton sortant du laminoir. Le tableau ci-après, établi sur ces bases, donne en regard le prix des matières de qualité moyenne qui peuvent être employées dans la construction des machines, et qui ne peuvent pas, à raison de la qualité même, être une cause

de refus, à moins de stipulations contraires dans les traités: la plus-value appliqués aux poids du tableau précédent; les prix élémentaires et les augmentations correspondantes sont des moyennes fixées approximativement, dont on pourra contester dans une certaine limite la quotité, mais qui ne peuvent pas donner lieu à des rectifications susceptibles de modifier la conséquence que nous tirerons de notre calcul.

NATURE des matériaux.	PRIX du kilogramme (qualité moyenne).	PLUS-VALUE du kilogramme (première qualité).	PRODUIT de la plus-value.
	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Fonte.....	0 38	0 10	371 30
Fer forgé.....	0 45	0 10	737 00
Tôle.....	0 38	0 12	518 19
Acier.....	1 45	0 30	181 50
Cuivre rouge.....	2 70	0 25	227 70
Laiton.....	2 55	0 20	289 40
Bronze.....	2 45	0 15	111 75
TOTAL.....			2,436 84

Si l'on tient compte des prix actuels, des conditions imposées aux constructeurs par les cahiers de charges habituels et de ce qui a lieu en réalité, cette plus-value est supérieure à ce qu'il serait équitable de leur allouer pour exiger avec la rigueur la plus absolue que tous les métaux employés fussent de première qualité; les constructeurs accepteraient un supplément de prix bien inférieur pour laisser en échange à l'administration du chemin de fer le droit d'éprouver et de recevoir les matières premières, à leur entrée dans la fabrique de machines, et pour exercer ce droit dans toute sa latitude; or, par le fait d'une altération et d'une usure moins rapides des métaux, par l'absence des accidents, qui donnent tant d'irrégularité au service des machines construites avec des métaux de qualité inférieure, on réaliserait un avantage

incontestable, cette somme ne représentant qu'une fraction peu importante des frais annuels d'entretien et de l'intérêt du capital compté sur le temps de service de la machine, et devant se trouver très-promptement couverte par l'économie des frais d'exploitation.

Ces considérations prouvent à l'évidence combien il importe de n'admettre dans la construction des machines locomotives que des matières de première qualité, et de faire au besoin les sacrifices nécessaires pour arriver à ce résultat. On ne doit pas en tirer la conséquence, qu'une administration de chemin de fer doit dans tous les cas construire ses machines, comme on pourrait être tenté de l'admettre, en faisant fléchir les raisons qui s'opposent en général à l'adoption de ce système; on doit en conclure seulement qu'il faut, pour la réparation dans les ateliers des chemins de fer, comme pour la construction, n'admettre que des matières premières de qualité tout à fait supérieure, et ne pas se laisser séduire par des motifs d'économie mal entendue.

Ces principes ont reçu, depuis notre première édition, où nous les avons développés dans les termes qui précèdent, une application fort importante par l'emploi de l'acier fondu; en France, en Belgique, et surtout en Allemagne, l'acier fondu est employé pour un grand nombre de pièces du mécanisme; quelques constructeurs allemands en font même un usage exclusif.

2^o SOINS APPORTÉS A LA CONSTRUCTION. — On ne doit pas se montrer moins difficile pour la perfection de l'ajustage et du montage de toutes les pièces d'une machine, que pour le choix des matériaux. Les prix habituellement payés aux constructeurs comportent des exigences rigoureuses de la part de l'acheteur. Bien qu'on stipule dans les marchés des garanties pour la réparation, et, au besoin, pour le remplacement de toutes les pièces défectueuses, bien que ces garanties s'étendent à un parcours de 4 à 5,000 kilomètres et même beaucoup plus, une machine d'un montage défectueux conservera toujours une partie de ses défauts et ne fera qu'un mauvais service jusqu'au moment où elle subira une réparation équivalant à une reconstruction.

Il est essentiel avant tout que la chaudière et le foyer soient bien étanches: des fuites d'eau à l'intérieur du foyer nuisent à la combustion; des fuites d'eau ou de vapeur sur l'enveloppe extérieure peuvent, au bout de peu de temps, devenir nuisibles à la marche, mais elles sont surtout désastreuses pour la conservation des chaudières, dont le métal s'altère par l'action de la rouille. Les tubes doivent être mis en place avec le plus grand soin. Les viroles doivent être chassées et mandrinées également, avec un soin tout particulier. Lorsqu'un joint de tube vient à fuir en service, il peut arriver que la réparation tombe entre les mains d'un ouvrier peu adroit, qui, en cherchant à consolider cet assemblage, affaiblit tous les autres; de même, un mécanicien qui voudrait, en marche, et lorsque la machine est allumée, rechasser une virole, pourrait faire lâcher celles qui l'environnent et mettre la machine hors de service. On ne doit donc, dans aucun cas, négliger la pose des viroles, en comptant sur la facilité des réparations en cas de fuite.

Les pièces du mécanisme doivent être ajustées avec une précision mathématique; le montage doit être fait avec une rigueur absolue. Dans une machine qui travaille à des vitesses considérables, qui effectue un travail énorme en peu de temps, et sans qu'une visite attentive des pièces puisse être faite dans l'intervalle des temps d'arrêt et de stationnement, l'usure et la dégradation des pièces, une fois commencée, marche avec une extrême rapidité et peut occasionner des ruptures avant qu'il ait été possible de remédier au mal. Cette observation s'applique en particulier aux pistons qui ne peuvent être démontés que lorsque la machine est sortie du service, et qui ne peuvent pas être visités, même sommairement, dans le cours d'un trajet; des écrous se desserrent, et les plateaux ou de simples boulons se détachent et occasionnent la rupture du cylindre; son pourtour se raye et finit par se canneler si le montage des pistons n'a pas été fait avec le plus grand soin, si l'ajustage de ses éléments n'est pas assez soigné. Des ruptures de tiges de pistons et de tiroirs, de bielles, de barres et de colliers d'excentriques, n'ont souvent d'autre cause

qu'un défaut de parallélisme, des défauts de coïncidence entre l'axe de la pièce et celui de ses guides, etc.; il en résulte des flexions indéfiniment répétées ou des vibrations qui finissent par la rupture des pièces. Par les mêmes raisons, il est nécessaire de donner aux pièces qui transmettent des efforts, alternativement en tirant et en poussant, une section et une rigidité suffisantes pour empêcher des flexions qui, trop prononcées et incessamment répétées, pourraient également occasionner des avaries.

Le montage du châssis et des supports nécessite également la plus grande attention. Lorsque les essieux ne sont pas exactement parallèles entre eux, lorsque les roues ne sont pas, de chaque côté, dans un même plan parallèle à la voie, lorsque les roues d'un même essieu ou de plusieurs essieux accouplés ne sont pas exactement de même diamètre, lorsque les roues ne sont pas rondes ou sont mal centrées, en ligne droite comme dans les courbes, il y a des glissements, qui déterminent une usure inégale et rapide des bandages, soit à la jante, soit au boudin. Comme ce glissement ne peut pas avoir lieu sans effort, il en résulte une fatigue inévitable pour le châssis, qui peut être déformé; il en résulte également une usure plus rapide des coussinets de boîte à graisse, etc., sans parler des mouvements oscillatoires que prend la machine sur la voie, des chances d'accidents ou d'avaries, et de la déperdition de travail utile qui en sont la conséquence.

Les ressorts eux-mêmes doivent être montés avec précision, de telle sorte que les deux roues d'un même essieu soient également chargées. Si la charge, d'un côté à l'autre, présentait des inégalités très-sensibles, l'une des roues tendrait à descendre sur le rail, en glissant sur une arête du tronc de cône qui forme la jante, la roue la moins chargée remontant sur l'autre rail d'une égale quantité. Les roues tendraient à rouler sur des circonférences de rayons inégaux, comme si elles n'étaient pas égales, et s'useraient inégalement. Les ressorts doivent, en outre, avoir une égale flexibilité, pour que les oscillations qui tendent à se produire ne soient pas, au delà de ce qui est inhérent à l'irrégularité de pose des voies, une nouvelle cause de déformation et de fatigue pour le châssis et d'usure pour les roues.

Nous n'insistons pas plus longtemps sur ce sujet; les exemples que nous avons indiqués établissent suffisamment la nécessité d'une grande attention et de grands soins dans la fabrication; nos ateliers de construction de machines locomotives, sous l'action salutaire des ingénieurs préposés à la direction de l'exploitation des chemins de fer, ont contracté des habitudes de précision telles, qu'une machine quelconque, sortant des mains de l'ouvrier, peut être mise en service, accomplir de longs trajets, sans qu'aucune pièce chauffe ou éprouve des avaries. C'est là ce qui explique surtout la supériorité que les constructeurs français ont incontestablement acquise sur beaucoup de constructeurs étrangers.

Les développements qui précèdent montreraient en outre, si cela n'était pas évident de soi-même, quelle différence il peut y avoir entre deux machines de même type pour la régularité du service et l'économie des frais d'entretien, selon que la construction a été bien ou mal soignée.

3^e RIGIDITÉ DU CHÂSSIS. — Nous avons insisté sur la nécessité d'un montage très-perfectionné; pour ne pas perdre en partie le bénéfice des sacrifices qui ont été faits dans ce but, il est nécessaire que le châssis soit très-solidement établi et qu'il ne puisse pas se déformer. En effet, les cylindres et les glissières sont attachés au châssis, et par conséquent, les extrémités antérieures des bielles et des barres d'excentriques sont solidaires avec lui, tandis que les extrémités opposées de ces pièces sont liées avec l'essieu moteur, lequel n'est rattaché au châssis que par l'intermédiaire des boîtes à graisse et des ressorts. Si le châssis est trop léger ou mal assemblé et qu'il se déforme, soit momentanément, au passage des courbes, soit périodiquement, dans le mouvement oscillatoire que prend la machine sous l'action de causes diverses, soit d'une manière permanente, par suite du gauchissement des pièces qui le constituent, les axes peuvent cesser de coïncider, le parallélisme peut être détruit, et les choses se passent exactement comme si la machine avait été mal montée dès l'origine.

Pour que le châssis puisse conserver sa forme, il ne suffit pas

que ses longerons aient des dimensions suffisantes, il faut qu'ils ne puissent pas se courber dans le sens de la longueur, ou s'allonger de quantités inégales; il faut, en outre, qu'ils restent exactement parallèles entre eux et à l'axe de la machine. Pour satisfaire à la première condition, il faut rendre le châssis indépendant des effets de la dilatation de la chaudière. Nous avons vu que pour cela, après avoir attaché la boîte à fumée au châssis, on terminait les supports intermédiaires de la chaudière, et surtout ceux de la boîte à feu, par des patins susceptibles de glisser longitudinalement sur les longerons, tout en leur restant invariablement attachés dans le sens transversal. Pour satisfaire à la seconde condition, il faut rendre le châssis insensible à la réaction de la voie sur les roues, au passage des courbes ou dans les parties rectilignes mal dressées, le soustraire à l'influence des mouvements oscillatoires que peut prendre la machine, et enfin aux actions et réactions inégales et inégalement distribuées des pistons sur l'essieu moteur. Il faut pour cela qu'entre l'essieu moteur et les cylindres, les longerons aient par eux-mêmes une grande rigidité résultant de leurs dimensions propres, il faut surtout qu'ils soient très-solidement entretoisés d'un côté à l'autre de la machine; la chaudière, qui, par sa forme et ses dimensions, possède elle-même une grande rigidité, est le lien naturel et le meilleur entre les longerons, auxquels elle se rattache par les supports, et ceux-ci sont plutôt des moyens intermédiaires d'attache entre les longerons, que des supports proprement dits, les attaches de la boîte à fumée et de la boîte à feu, au châssis, suffisant, à la rigueur, pour supporter les chaudières les plus longues. Lorsque les cylindres sont intérieurs, ils deviennent eux-mêmes un lien entre les deux longerons; il en est de même pour les supports des glissières. Lorsque la machine est à cylindres extérieurs et que les longerons sont sensiblement plus bas que la chaudière, il peut devenir utile de les relier directement par des traverses. La liaison des deux parties latérales du châssis est plus facile lorsque celui-ci est intérieur que lorsqu'il est extérieur; mais, dans ce dernier cas, on peut donner aux deux longerons une grande solidité, en les formant de

deux feuilles de tôle, entre lesquelles se trouve intercalé un madrier en bois.

L'essieu moteur doit rester exactement perpendiculaire aux longerons et ne doit subir aucun déplacement dans le sens de sa longueur; ce qui aurait pour résultat de briser les lignes d'axes; il faut donc éviter avec soin de donner à ses fusées du jeu dans les boîtes à graisse, et de laisser prendre à celles-ci trop de jeu dans les plaques de garde. En outre, il convient que les plaques de garde des roues motrices soient courtes et très-rigides, tandis que les plaques de garde des roues d'avant peuvent être longues et flexibles, pour faciliter le déplacement de l'essieu au passage des courbes ou sous l'action des inégalités de la voie. Il existe une cause de dégradation du mécanisme qui ne peut être atténuée que par un entretien très-soigné de la voie; lorsque la ligne des rails est ondulée dans le sens vertical, inégalement pour chaque côté de la voie, l'essieu moteur se déplace dans le sens vertical, s'incline tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, sous l'action de son propre poids et des ressorts qui maintiennent les roues constamment appliquées sur les rails; quelle que soit leur déflexion; en d'autres termes, les trois essieux peuvent prendre des inclinaisons diverses par rapport au plan du châssis auquel ils sont perpendiculaires dans le montage; les manivelles et les excentriques éprouvent des mouvements auxquels ne participent pas les glissières; les coquilles de piston et les guides des tiges des tiroirs; il en résulte nécessairement des torsions des bielles et des barres d'excentriques; et des frottements anormaux des grosses têtes de bielle sur les manivelles, et des colliers d'excentriques sur les disques qui les supportent. Il convient par suite de ne pas donner aux ressorts une trop grande élasticité, pour que l'amplitude des déplacements, que le châssis peut éprouver, ne s'accroisse pas dans des limites trop étendues; mais ce qu'il faut surtout, ainsi que nous l'avons dit, c'est une voie bien entretenue et bien dressée.

Comme exemples de châssis établis dans de très-bonnes conditions, nous citerons, d'une manière générale, ceux qui, dans les machines à cylindres extérieurs ou intérieurs des chemins de fer

construits dans ces dernières années, ont été établis de manière à ne faire participer le mécanisme à aucun des effets ou des déplacements qui résultent de la dilatation de la chaudière. En principe, ces châssis permettraient le montage complet du mécanisme indépendamment de la chaudière. Cependant, dans la machine du système Buddicom, l'essieu moteur est fixé sur les longerons intérieurs, qui portent également le mécanisme de la distribution. Cette disposition soumet, il est vrai, cet essieu aux influences de la dilatation; mais les chaudières étant courtes, le déplacement de l'essieu qui en peut résulter est très-faible, il n'affecte pas sensiblement la ligne d'axe. Les boîtes à graisse étant isolées du châssis extérieur auquel sont en partie attachés les cylindres, il ne se produit pas le gauchissement et la torsion qui résultent ordinairement de la dilatation inégale. Ce système est donc encore excellent. Ce qui est mauvais, c'est la liaison entre la chaudière et le châssis, par des attaches excessivement rigides, rendant le mouvement longitudinal de l'un dépendant de l'autre. Les différences de dilatation amènent toujours des disjonctions du système, dont les effets sont de déranger les lignes de montage, de produire des jeux et des chocs dans le mécanisme, de dérégler la machine et de la mettre en désarroi.

4° SURFACES DE FROTTEMENT. — Le choix des matières employées pour former les pièces soumises au frottement exige une attention spéciale. Nous avons donné à ce sujet diverses indications sur lesquelles nous ne reviendrons pas; nous insisterons seulement sur la nécessité de donner aux surfaces frottantes une étendue proportionnée à la pression qu'elles ont à supporter. Au delà de certaines limites, la pression devient trop forte pour que l'huile et les matières lubrifiantes puissent pénétrer entre les surfaces ou y rester adhérentes; elles sont comme exprimées. Lorsqu'on commet la faute d'approcher de ces limites, les pièces s'échauffent, surtout lorsqu'elles sont animées d'une grande vitesse, elles grippent et s'altèrent profondément; des réparations sont à chaque instant nécessaires; c'est ce qui a lieu en parti-

culier pour les fusées d'essieux de machine ou de tender, lorsqu'on n'a pas suffisamment proportionné le diamètre et la longueur des fusées avec la charge que doivent supporter les roues. Dans ces derniers temps, on s'est appliqué avec soin à satisfaire à cette condition, et on a augmenté dans une large proportion la longueur et le diamètre des fusées d'essieux. On ne doit pas faire supporter aux surfaces de contact effectif une pression qui excède 25 kilog. par centimètre carré; il convient même de descendre beaucoup au-dessous de cette limite pour les machines à grande vitesse.

Les pièces frottantes sont, d'une part, les segments de piston et les cylindres, les coquilles de piston et les glissières, les tiroirs et leur siège, les tiges de piston et de tiroir et leurs presse-étoupes, les coulisseaux et les coulisses, les excentriques et leurs colliers, les manivelles et les grosses têtes de bielles, les plongeurs de pompe et leurs presse-étoupes, les fusées d'essieux et les coussinets de boîtes à graisse, etc.; de l'autre côté, les articulations de toute nature. Dans le premier cas, les déplacements relatifs des pièces ont une étendue plus ou moins considérable, mais toujours très-appreciable, et les frottements donnent lieu à un travail résistant que l'on ne saurait négliger; il faut donc tout disposer pour rendre le graissage facile, pour maintenir son action pendant un temps assez grand afin que de longs parcours puissent être effectués entre deux graissages, et en même temps afin d'éviter, autant que possible, les pertes d'huile et de graisse, si l'on veut non-seulement éviter la prompte usure des pièces frottantes, mais encore maintenir disponible la plus grande somme possible du travail moteur que produit la vapeur en agissant sur les pistons. Dans le second cas, lorsqu'il s'agit seulement d'articulations, les déplacements relatifs sont très-faibles et ne peuvent absorber qu'une très-petite partie du travail utile; il faut encore combiner des moyens de graissage, mais ils sont plus simples et n'exigent pas une attention aussi soutenue; ils ont pour objet d'éviter l'usure des appareils, qui, généralement, n'ont pas de pièces mobiles et faciles à remplacer, comme les segments de piston, les patins des coquilles

de piston, les garnitures de presse-étoupes, etc. Cette nécessité d'un graissage permanent a donné lieu à diverses dispositions de détail que nous avons indiquées en décrivant la machine locomotive. Nous n'y reviendrons pas, mais nous appellerons d'une manière toute spéciale l'attention des constructeurs sur ces points, qui peuvent paraître très accessoires, et qui ont cependant une importance capitale. Les dispositions adoptées sont en général suffisantes; cependant, le graissage des tiroirs et des pistons laisse beaucoup à désirer. L'imperfection des moyens employés se fera surtout sentir lorsqu'on arrivera à employer de la vapeur plus sèche qu'on ne l'a fait jusqu'à présent.

Dans l'état actuel des choses, on graisse les pistons et les tiroirs avant le départ, en versant, par un robinet ou par un bouchon, une certaine quantité d'huile ou de suif qui se rassemble à la partie inférieure du cylindre ou de la boîte de tiroir, et qui flotte à la surface de l'eau de condensation qui s'y trouve généralement déposée; dans tous les cas, après quelques coups de piston, la matière lubrifiante a disparu. Il y aurait un avantage incontestable à maintenir constamment grasses les surfaces de frottement du tiroir et du piston. La solution du problème est difficile, mais c'est par cela même qu'elle mérite de fixer toute l'attention des constructeurs. On peut dire avec une certitude presque complète que, jusqu'ici, ces organes ne sont lubrifiés que par l'eau qui est amenée par la vapeur dans les cylindres ou qui s'y condense.

Une dernière précaution reste à signaler : c'est la nécessité de prévenir, autant que possible, l'introduction du sable fin entre les parties frottantes. Les mèches des godets graisseurs ne servent pas seulement à entretenir un écoulement très-lent, elles ont encore pour utilité d'empêcher l'entraînement, par l'huile, du sable fin qui s'introduit dans les réservoirs; aussi convient-il, par surcroît de précaution, de fermer ceux-ci par des couvercles, toutes les fois que le mécanicien peut les atteindre avec la main et les manquer sans une trop grande perte de temps. Les pièces extérieures, comme les glissières, par exemple, sont difficilement préservées de l'action du sable; aussi, est-ce là une des causes prin-

cipales de leur rapide usure. On y remédie, autant que possible, en évitant de laisser du jeu entre elles et les patins de la coquille. Pour les tiges de piston et de tiroir, on peut mettre à l'entrée du presse-étoupes un paquet de filasse qui les essuie avant leur entrée dans la garniture, et qui peut en même temps servir de réservoir à l'huile, en formant éponge.

Lorsque l'on remorque un train avec deux machines, la seconde souffre, plus qu'elle, la première, de la poussière qui n'est généralement soulevée qu'au moment du passage de la machine, et qui atteint moins les pièces du mécanisme situées à l'avant de la première machine que celles de la seconde. L'action destructive de la poussière de sable fin sur les organes des machines a une importance telle, qu'on doit s'en préoccuper sérieusement dans la construction des chemins de fer. On ne doit, autant que possible, employer que du gravier lourd, un peu argileux, qui se tasse facilement, sans cesser d'être perméable à l'eau, et qui ne donne que peu de poussière. Lorsqu'on ne peut avoir que du sable fin, il y a tout avantage à employer de la pierre cassée ou de la craie dure pour former le ballast.

5^e SIMPLICITÉ DU MÉCANISME. — Une des conditions essentielles pour assurer l'économie des frais d'entretien d'une machine, est la simplicité des organes mécaniques. Avantageuse au constructeur qui a une moindre dépense de façon à supporter, elle l'est également à l'exploitant, qui fait plus rapidement et à moins de frais les réparations. On peut citer comme un modèle dans ce genre la machine à voyageurs du chemin de fer de Rouen. M. Budignon, à la fois constructeur et entrepreneur du service de locomotion, et la Compagnie, qui lui a accordé sa confiance, peuvent se féliciter à juste titre du choix qui a été fait de ces machines à l'époque de la construction du chemin de fer; elles répondaient parfaitement aux conditions spéciales de l'exploitation. C'est incontestablement l'économie des frais d'entretien des machines et des tenders qui a permis, pour une part importante, d'établir un prix modéré pour la traction.

C'est également, en grande partie, pour rentrer, autant que possible, dans ces conditions, qu'on a dû renoncer, presque partout, à l'emploi de la détente variable à plusieurs tiroirs superposés, malgré les avantages qu'on pouvait en attendre pour l'économie du combustible.

En se plaçant à ce point de vue, on doit donner aux constructeurs, dans la conception des plans qui doivent servir de base à la construction des machines, une très-large part. L'intervention de leur intérêt, contrôlé avec soin pour qu'il ne les entraîne pas au-delà de certaines limites où l'abus commencerait, est utile pour amener les machines à leur degré de simplicité le plus complet. Cet intérêt se lie d'une manière intime avec celui de l'exploitant, car généralement une machine facile et avantageuse à construire présentera les mêmes facilités et les mêmes avantages pour les réparations et l'entretien.

6° JEU DES PIÈCES DU MÉCANISME. — Nous avons exprimé notre opinion sur la nécessité d'une grande perfection dans la construction des machines; nous insisterons en outre sur la nécessité de ne chercher qu'avec une grande réserve à faciliter les mouvements des pièces, en leur donnant une certaine liberté, un certain *jeu*. Dans une machine locomotive, les efforts et toutes les résistances, si l'on en excepte la réaction des rails sur les roues au passage des courbes et dans les parties droites mal réglées, ou bien enfin lorsque la machine est soumise à des actions perturbatrices que nous étudierons plus tard, s'exercent parallèlement à l'axe de la voie. Il importe de ne donner dans ce sens aucun jeu aux pièces du mécanisme, car les efforts qu'elles ont à supporter changent de sens à chaque révolution des roues motrices. Le moindre jeu dans les articulations donne lieu à des chocs d'autant plus destructeurs que les efforts sont plus considérables et la vitesse plus grande; les pièces s'usent avec une extrême rapidité, et des réparations importantes deviennent promptement nécessaires. Ce qui peut être dit de la construction s'applique à plus forte raison à l'entretien. Lorsque le jeu devient un peu fort,

il est nécessaire de le faire disparaître, et pour cela, il convient de préparer à l'avance, pour certaines pièces, des moyens de serrage, de ménager, pour d'autres, la possibilité de rapporter des épaisseurs, etc. Quelques constructeurs, pour faciliter le passage des machines à roues accouplées dans les courbes, laissent un peu de jeu dans les coussinets des bielles d'accouplement; c'est quelquefois un mal nécessaire, mais il vaut mieux arriver à ce résultat en employant des bielles plates, placées de champ, qui se prêtent, par leur flexibilité, aux déviations momentanées des essieux, lorsqu'il est nécessaire de les faciliter pour le passage des courbes et dans les changements de voie.

Le jeu des pièces du mécanisme n'a pas le même inconvénient, lorsqu'il a lieu dans un sens perpendiculaire à l'axe de la machine; le mode de liaison du châssis avec les boîtes à graisse et les essieux en est un exemple frappant. Nous en avons donné un autre exemple en indiquant le mode spécial d'emmanchement des tiges de tiroir avec leurs guides carrés, au moyen d'un étrier. On peut donner une certaine liberté latérale aux articulations cylindriques, pour faciliter la rectification spontanée de quelques irrégularités de montage, ou pour remédier à l'influence de quelques déformations momentanées du châssis; on peut permettre un certain déplacement longitudinal des boîtes à graisse sur les fusées des essieux; on pourrait même, à la rigueur, essayer de combiner quelques articulations sphériques, comme on le fait dans les machines fixes; mais, nous ne saurions trop le répéter, on doit éviter avec soin, dans le sens de l'axe de la machine, toute espèce de jeu qui donnerait lieu, à chaque tour de roue, à un double choc en avant et en arrière, quelque modification que puissent apporter aux observations qui viennent d'être présentées les conditions spéciales de la transformation du mouvement rectiligne alternatif en mouvement circulaire.

7° STABILITÉ. — La stabilité des machines, que nous étudierons dans un chapitre spécial, intéresse elle-même à un très-haut degré la conservation des machines; les inégalités de la voie, ou les

inégalités de mouvement inhérentes au mode de construction et au degré d'entretien de la machine, les actions perturbatrices intérieures qui se développent dans le mouvement de ses organes, ont toutes pour résultat d'occasionner des chocs, des tiraillements ou des efforts intérieurs, qui sont une cause capitale d'usure des pièces et de dislocation des assemblages. Il faut donc, au point de vue qui nous occupe actuellement, assurer par tous les moyens possibles la stabilité des machines en mouvement. C'est, du reste, un point sur lequel nous reviendrons avec insistance.

5 2. — Économie du combustible.

La question qui fait l'objet de ce paragraphe a une importance capitale pour l'économie générale des frais de traction, car la consommation du combustible entre dans la totalité de ces frais pour un tiers environ, ou même pour moitié sur les chemins à grand trafic ou à profil accidenté, lorsqu'en même temps le coke et la houille sont grevés de frais de transports considérables. La première condition à remplir est la bonne qualité du combustible; son pouvoir calorifique est d'autant plus grand qu'il est plus pur, mais en même temps sa pureté réagit de la manière la plus saillante sur la célérité, l'exactitude et l'économie générale des frais d'exploitation. Nous insisterons spécialement sur ce point, avant d'indiquer les autres conditions auxquelles on doit tâcher de satisfaire pour arriver au meilleur résultat possible.

1^o CHOIX DU COMBUSTIBLE. — On doit avant tout, lorsqu'on prépare l'organisation d'un service de chemin de fer, étudier avec soin les produits des houillères qui devront fournir le combustible nécessaire à la consommation des machines locomotives. La nature même de ce combustible, son degré plus ou moins grand de pureté doivent être pris en considération, lorsqu'on arrête le choix du matériel; en effet, un combustible très-dense et très-pur pourra donner d'excellents résultats dans les foyers d'une dimension restreinte, tandis que, par exemple, du coke léger ou très-impur ne

pourra produire une vaporisation active que si l'on donne aux foyers une plus grande capacité, une profondeur moindre et des tubes d'un plus grand diamètre, etc. On arrive généralement aujourd'hui à préparer du coke de bonne qualité, en apportant plus de soin à la fabrication. C'est même parce qu'on n'a pas toujours eu suffisamment égard aux observations qui précèdent, parce qu'on a importé d'Angleterre, sans en modifier les foyers, des machines faites pour consommer du coke excellent, et qui n'ont fait qu'un mauvais service lorsqu'on les a appliquées aux chemins de fer qui n'étaient approvisionnés que de combustibles médiocres, que ce progrès a été réalisé; cependant, quoique la question ait perdu de son importance, les constructeurs ou les ingénieurs qui construisent les machines ne doivent pas négliger cet examen préalable.

Les seuls combustibles dont nous ayons à nous occuper, ainsi que nous l'avons déjà dit, sont la houille en nature, et la houille carbonisée ou le coke.

La houille en nature doit être en morceaux, ne pas se réduire au feu en petits fragments qui obstruent la grille, gênent le passage de l'air, et sont entraînés dans les tubes qu'ils bouchent et dans la boîte à fumée où ils peuvent prendre feu et occasionner des dégradations; elle doit être assez maigre pour ne pas s'agglutiner et se prendre en masse sur la grille, car le tirage deviendrait promptement impossible; elle doit enfin être exempte de pyrites que la chaleur décompose et qui abandonnant du soufre essentiellement nuisible à la conservation des foyers.

Ces diverses conditions ont paru pendant longtemps assez difficiles à remplir; mais on trouve, en France et dans les bassins qui approvisionnent nos chemins de fer, des mines de houille qui fournissent en abondance des houilles propres à l'emploi en nature dans les locomotives. L'exemple le plus remarquable à l'étranger est celui de la Pensylvanie; où les anthracites du Shuickill ont des propriétés tout à fait particulières; ce combustible naturellement très-pur ne renferme pas de matières bitumineuses, il est extrêmement solide et ne peut être réduit en

fragmentés que sous l'action du marteau, et en même temps il conserve sa forme au feu, sans décrépiter; il est difficile à allumer, mais lorsqu'il est arrivé à l'incandescence, il brûle très-bien, et, si ce n'est un degré d'intensité supérieur pour la chaleur produite, il donne un feu analogue à celui du charbon de bois.

La rareté relative des houilles en gros morceaux en Belgique et en France a donné un développement considérable, depuis peu d'années, à la fabrication des briquettes ou agglomérées. Les résultats avantageux obtenus par le lavage des houilles menues destinées à la carbonisation, ont favorisé cette nouvelle fabrication, dont les produits purs, solides et d'un arrimage facile, seraient préférables, dans tous les cas, à la houille en gros morceaux, si la fumée dégagée par le goudron, qui a servi de ciment pour l'agglomération, ne s'ajoutait pas à celle de la houille. — En effet, la houille employée dans les foyers des machines locomotives, soit seule, soit en mélange avec le coke, a l'inconvénient de donner une fumée incommode, qui fait en général restreindre son emploi aux convois de marchandises. Lorsqu'on emploie des houilles un peu bitumineuses, on ne doit charger la grille que sur une faible épaisseur, pour maintenir au tirage toute l'activité nécessaire.

2° COKE. — Le coke, pour donner des résultats avantageux au point de vue de l'économie et de la régularité du service, doit remplir plusieurs conditions essentielles. Il doit être dur et solide pour que les manutentions successives auxquelles il est soumis, le chargement sur le tender et les secousses produites par la marche, ne le brisent pas en menus morceaux et n'occasionnent pas un déchet trop considérable; des menus fragments de coke introduits en trop grande quantité dans le foyer gênent le tirage, et obstruent les tubes lorsqu'ils sont entraînés par le courant d'air. Il doit être aussi pur que possible, c'est-à-dire être exempt de fragments de matières schisteuses et non combustibles, et ne renfermer qu'une faible proportion de cendres. Il doit enfin être exempt du sulfure de fer qui nuit à la conservation des foyers et

des tubes, soit directement par le soufre qu'il peut abandonner à l'état de corps simple, soit par les produits sulfureux auxquels il peut donner naissance.

On satisfait à la première condition en carbonisant la houille dans des fours d'une grande capacité, et en prolongeant la durée de la cuisson au delà des limites habituellement adoptées pour d'autres usages, notamment pour la métallurgie. On est arrivé dans beaucoup de cas à porter la charge des fours à coke à 6 à 8,000 kilogrammes de houille et à prolonger la cuisson pendant cent heures et même plus; mais ces conditions ne peuvent pas être les mêmes pour toutes les houilles et pour toutes les formes d'appareils; il y en a pour lesquelles une carbonisation de quarante-huit heures est tout à fait suffisante; en allant au delà, on s'exposerait à dépasser le but. En chargeant dans les fours de grandes quantités de houille à la fois, on augmente jusqu'à un certain point la densité du produit, mais on est surtout obligé de le faire pour arriver à donner à la cuisson toute la durée nécessaire; en carbonisant lentement dans des fours de petite capacité, on serait entraîné à de grandes dépenses de premier établissement et on s'exposerait du reste à refroidir les appareils au delà des limites convenables et à compromettre la continuité des opérations. La durée de la cuisson a surtout pour objet de faire séjourner le coke dans le four, sous l'action d'une température très-élevée, et de produire une agglutination plus complète, puis de lui donner du recuit en le laissant refroidir très-lentement en étouffant le feu. On obtient ainsi un coke sonore, bien fondu, peu fissuré et d'une grande dureté, ne se réduisant que difficilement en petits fragments.

La dureté, la compacité, l'éclat et la sonorité ne sont pas les propriétés essentielles du coke: ce sont plutôt les caractères de la propriété essentielle que nous avons énoncée, la *solidité* ou la *non-friabilité*.

Jusqu'à un certain point et dans certaines limites, il peut être nécessaire d'avoir un combustible très-dense et très-compact, pour obtenir une température très-élevée en augmentant la masse des

réactifs en présence dans le phénomène de la combustion ; mais cette condition n'est pas essentielle, car l'expérience n'indique pas qu'avec un combustible léger, s'il est aussi pur, on n'obtienne pas une même activité de vaporisation ; il y aurait seulement, dans ce cas, accroissement de travail pour le chauffeur et moins de régularité dans la production de la vapeur. Ces deux inconvénients pourraient avoir pour conséquence une consommation plus considérable de combustible, sans que cependant la marche de la machine fût gênée par le manque de vapeur.

L'impureté de la houille employée à la fabrication du coke résulte des conditions de son gisement ou de sa nature même, le plus souvent de ces deux causes réunies. Il arrive fréquemment que la houille la plus pure, minéralogiquement parlant, est séparée en veines par de petits lits de matières schisteuses, qu'elle est recouverte de schistes, qui tombent avec elle, lorsqu'on l'abat dans la mine, et qui arrivent au jour mélangés avec elle. Lorsque la houille s'abat en morceaux, les parties pures peuvent être triées dans la mine, ou plus exactement elle peut être nettoyée par un triage ; les fragments auxquels des matières schisteuses restent adhérentes peuvent être purifiés par un cassage et par un nouveau triage, et le produit livré à la carbonisation peut arriver à la qualité convenable. Lorsque la houille ne sort de la mine qu'à l'état de menu, ce qui a toujours lieu pour une partie au moins, on peut encore enlever à la main les pierres et les fragments de schiste d'un certain volume ; mais la masse reste toujours mélangée de menus fragments de schiste qui altèrent souvent dans une très-forte proportion sa pureté. Dans ce dernier cas, on est obligé de soumettre la houille à une préparation mécanique, imitée de celle qui est depuis des siècles appliquée pour séparer les minerais métalliques de leurs gangues ; on la fait passer dans des appareils de lavage, où les matières se classent par ordre de densité, et où la houille pure se sépare des parties terreuses. Cette opération a, en outre, pour résultat de débarrasser la houille de la plus grande partie des pyrites qu'elle renferme et d'assurer, à ce point de vue, la conservation des foyers. Nous ne décrirons pas ici les procédés

de lavage qui sont appliqués à la préparation de la houille destinée à la fabrication du coke pour locomotives ; nous les indiquons seulement, en insistant sur la nécessité d'y recourir, lorsque la houille peut être améliorée par leur usage et acquérir un plus grand degré de pureté. Les différents moyens de purification qui sont employés après l'extraction, pour dégager la houille des matières qui altèrent sa qualité, ne dispensent pas des soins à donner à l'abatage dans l'intérieur de la mine ; c'est là surtout qu'on peut arriver à peu de frais, par une direction intelligente, par une surveillance attentive, à améliorer la matière première de la fabrication du coke ; les frais qu'il est indispensable de faire pour nettoyer la houille sur le carreau de la mine rendent ces soins encore plus nécessaires.

La houille renferme toujours une certaine quantité de matières terreuses intimement mélangées avec la matière combustible ; après la combustion, elles restent à l'état de cendres. La proportion de cendres que la houille laisse à la combustion varie dans des limites très-étendues, depuis moins de 1 p. 0/0 jusqu'à 20 p. 0/0 et au delà ; elles se concentrent dans le coke qui ne représente qu'une fraction du poids total de la houille employée pour le fabriquer. Les cendres présentent plusieurs inconvénients ; elles tiennent la place d'un poids égal de combustible, et sont grevées de tous les frais de fabrication, de transport et autres qui ne devraient s'appliquer qu'à la matière utile ; elles donnent au coke la propriété de se charger d'une grande quantité d'humidité dans les temps pluvieux ou humides, et même par l'extinction à l'eau ; elles le réduisent en menu lorsque l'exposition à l'air est prolongée. Elles nuisent à la combustion, lorsqu'elles sont de nature peu fusible sans être cependant complètement réfractaires, en restant adhérentes à la surface des morceaux de coke et en gênant la combustion ; si elles étaient fusibles, elles s'en sépareraient par une sorte de liquation en formant des scories et du mâchefer, et, si elles étaient complètement réfractaires, elles seraient entraînées à l'état de poussière par la cheminée. Elles obstruent le passage de l'air sur une grille chargée d'une couche assez épaisse de combustible, en se tassant fortement sous l'action

de la trépidation produite par le mouvement ; de là résulte la nécessité d'activer le tirage en serrant l'échappement, et de créer des contre-pressions, qui deviennent une source de dépense, sans compter la nécessité de piquer le feu, opération qui fait toujours perdre du coke. Les cendres de nature intermédiaire ont l'inconvénient d'engorger l'orifice des tubes et les tubes eux-mêmes en adhérant aux parois, lorsqu'elles sont entraînées par un courant d'air très-actif. Les fragments de schiste sont moins nuisibles que la cendre intimement mélangée dans le combustible, car, généralement, ils sont chargés d'une certaine quantité de carbonate ou d'oxyde de fer provenant de la décomposition des pyrites, qui les rend fusibles ; ils coulent sur la grille sous forme de *mâchefer*, et on peut, à la rigueur, maintenir le feu actif en le piquant fréquemment.

L'expérience a fait reconnaître que le coke, pour être de *bonne qualité*, ne devait pas laisser plus de 6 p. 0/0 de résidu (cendre et schiste) ; à 8 p. 0/0, il est d'une *qualité médiocre* ; à 10 p. 0/0, il devient *mauvais* et ne peut plus donner que des résultats défavorables pour le service. On doit donc, lorsqu'on installe le service d'un chemin de fer, se rendre un compte exact de la nature et des propriétés des houilles qui peuvent être appliquées à la fabrication du coke pour le service de la locomotion ; on doit, en traitant avec les fournisseurs, stipuler toutes les garanties qu'il est possible d'obtenir pour le choix des matières, pour les soins apportés à la fabrication. Les difficultés de toute nature inhérentes à des traités de cette nature avaient amené beaucoup de personnes à considérer comme une nécessité la fabrication du coke en régie, par les soins mêmes de l'administration du chemin de fer ; cette nécessité a cessé par l'introduction, dans les marchés de coke, d'une clause précise, ayant pour objet de créer des garanties qui n'étaient auparavant que nominales ; cette clause, comme tout ce qui est à la fois vrai et pratique, a reçu, en moins d'une année, une application générale sur plusieurs lignes importantes de chemins de fer, et spécialement sur le chemin de fer du Nord. On stipule que la proportion de résidu à l'incinération n'excedera

pas 6 p. 0/0, par exemple ; que les livraisons qui présenteront une teneur supérieure à 8 p. 0/0 pourront être refusées ; on fait, chaque mois, une moyenne de la teneur en cendres des coques présentés à la réception, et, pour chaque *demi-centième* en sus du taux stipulé (6 p. 0/0), on fait sur le prix du marché, pour toute la durée du mois, une retenue de 0^f 50 par tonne ; on vient au contraire d'allouer au fabricant une bonification analogue, toutes les fois que le coke livré n'atteint pas la limite convenue. On fait des prises d'essai, qui représentent sensiblement la qualité moyenne, sur la fourniture de chaque jour, et par l'incinération on constate son degré de pureté ; c'est la moyenne de ces résultats journaliers que l'on prend à la fin du mois. Cette combinaison a eu pour résultat d'améliorer d'une manière très-remarquable la qualité du coke ; la proportion de cendres qui ne descendait qu'accidentellement à 10 p. 0/0, qui s'élevait jusqu'à 20 p. 0/0, a été réduite à 7, 6, 5 et même 4 p. 0/0 ; des coques qui ne fournissaient qu'un très-mauvais service sont devenus presque comparables, pour la qualité, aux coques tirés à grands frais d'Angleterre.

L'application du lavage à la houille et la fixation d'un maximum pour la teneur en cendres constituent l'une des améliorations les plus importantes qui aient été apportées, dans ces derniers temps, au service de nos chemins de fer, sous le double point de vue de l'économie et de la régularité. Cette dernière méthode est un nouveau exemple des services que la chimie est appelée à rendre dans l'industrie ; pour ce qui concerne les chemins de fer, où les consommations et les emplois de matières premières se font sur une immense échelle, il y a certainement beaucoup à faire encore dans cette voie, pour la préparation des eaux d'alimentation, la réception des huiles et des graisses, etc., la vérification des alliages, le choix des fontes, etc. . . .

Dans les marchés pour la fourniture du coke, on doit encore stipuler des réserves pour le cas où le fabricant livrerait du coke imprégné d'eau ; l'extinction à la sortie du four doit être faite avec la plus petite quantité d'eau possible, de telle sorte que la chaleur propre des fragments de coke, lorsqu'ils ne sont plus incandes-

cents, suffise pour réduire en vapeur l'eau qu'ils ont absorbée en excès. Comme moyen de contrôle et de réparation du dommage causé à l'acheteur, celui-ci se réserve la faculté de mesurer, par une dessiccation prolongée, la quantité d'eau que contient le coke livré, et de la déduire du poids des livraisons; cette vérification doit être faite toutes les fois que l'agent préposé à la réception au lieu de fabrication le juge nécessaire; elle est d'autant plus importante, que, si on néglige de la faire, la quantité d'eau payée comme combustible peut s'élever à 10 et 15 p. 0/0 et même au delà : elle est surtout nécessaire, lorsque le poids des livraisons n'est constaté qu'après un transport par bateaux. L'eau contenue dans le coke n'a pas seulement pour inconvénient d'augmenter dans une proportion très-notable le prix d'achat, lorsqu'on néglige d'en faire la déduction; elle nécessite, pour être réduite en vapeur dans le foyer, la dépense d'une quantité de chaleur qui n'est pas entièrement négligeable. En effet, l'eau, pour être réduite en vapeur à une haute température, exige une quantité de chaleur qui peut être évaluée à environ 700 calories, et, d'un autre côté, le coke par la combustion produit au maximum 7,000 calories; l'eau renfermée dans le coke occasionne donc, pour se vaporiser dans le foyer, une quantité de combustible qui peut être évaluée à 1/10 de son poids; si elle atteint les proportions de 10 p. 0/0, de 20 p. 0/0, c'est 1 p. 0/0 ou 2 p. 0/0 de coke consommé en pure perte. C'est là une source de dépense qui n'est pas négligeable sur un chemin de fer d'une grande étendue; elle justifie les soins que l'on prend pour mettre à l'abri, sous des hangars, le coke destiné à servir de réserve, et dans lesquels il doit rester longtemps avant d'être livré à la consommation des machines.

2° MODE DE COMBUSTION. — Les règles adoptées pour fixer la hauteur que le coke doit occuper sur la grille, sont très-variables; il règne un désaccord assez grand sur ce sujet entre les ingénieurs chargés du service de la traction sur les chemins de fer; la disposition des foyers présente, par suite, des différences assez marquées, qui en sont la conséquence. La hauteur, au-dessus de la

grille, des tubes qui forment la rangée inférieure, limite celle du combustible à la partie antérieure du foyer; or, cette hauteur varie de 0^m 45 à 0^m 75; on l'a même portée quelquefois à 1^m; des divergences de cette nature ne peuvent pas être justifiées par la différence de nature du combustible; elles se présentent d'ailleurs dans des machines affectées au même service. Il y a là une question qui n'a pas encore fixé suffisamment l'attention des praticiens; nous ne chercherons pas à la résoudre, car nous manquons de données expérimentales à ce sujet. Nous chercherons seulement à la poser en termes précis, en invitant les personnes intéressées à l'étudier.

Dans le phénomène de la combustion, le carbone, qui constitue la matière utile à la combustion, se combine avec l'oxygène de l'air appelé par le tirage à travers la grille; le produit de la combustion varie suivant la proportion relative des réactifs mis en présence; si l'air est en excès, le produit sera de l'acide carbonique; si le carbone est en excès, le produit sera de l'oxyde de carbone, qui contient, pour une même quantité de carbone, moitié moins d'oxygène que l'acide carbonique, et qui, lui-même, est susceptible de brûler en produisant une quantité de chaleur considérable, en absorbant l'oxygène qui lui manque pour se transformer en acide carbonique. Si les proportions de carbone ou de coke et d'air sont comprises entre les deux limites, le produit est un mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone. Dans un foyer de machine locomotive, la couche de combustible, la dimension des passages laissés aux gaz, entre les morceaux de coke et le tirage, peuvent être dans des rapports tels, que tout l'air qui traverse la grille soit transformé en acide carbonique; la combustion aura lieu, dans ce cas, d'une manière complète et fournira, avec le minimum de combustible, la plus grande quantité possible de chaleur. Le foyer étant dans cet état, si l'on suppose qu'une nouvelle couche de combustible incandescent soit superposée à la première, une réaction, bien connue dans les laboratoires et dans la métallurgie, aura lieu : l'acide carbonique cédera au carbone la moitié de son oxygène, pour former de l'oxyde de carbone, en même temps qu'il

sera lui-même transformé en oxyde de carbone; cette nouvelle réaction, si elle ne produit pas un refroidissement, comme cela doit avoir lieu dans une certaine mesure, ne produira pas, tout au moins, une élévation de température, et, pour une même quantité de chaleur produite, on aura une consommation plus forte de combustible.

L'exagération de la hauteur du combustible n'a pas seulement pour résultat une consommation de coke inutile, elle entraîne avec elle encore d'autres inconvénients. Un volume d'acide carbonique, lorsqu'il se transforme en oxyde de carbone au contact de la masse de combustible incandescent, donne deux volumes de ce nouveau gaz; par suite, lorsqu'au lieu de produire de l'acide carbonique seulement dans le foyer, on arrivera, par l'augmentation de la hauteur du combustible chargé sur la grille, à ne produire que de l'oxyde de carbone, c'est un volume double de gaz chauds qu'il faudra faire passer à travers les tubes, sous l'action du tirage produit par le jet de vapeur dans la cheminée; en outre, les gaz produits devront être appelés à travers une couche de combustible plus épaisse, plus fortement tassée, et, par conséquent, présentant plus de résistance à l'écoulement, indépendamment de l'augmentation de volume qu'ils ont éprouvée avant d'arriver à la partie supérieure du foyer; c'est, pour ces deux motifs, une augmentation de tirage rendue nécessaire et produisant, à son tour, une augmentation de résistance derrière le piston, une déperdition plus grande du travail moteur développé par la vapeur. En outre, la couche supérieure du combustible, lorsqu'il est chargé sur une très-grande hauteur, n'atteint plus une température aussi élevée qu'elle le ferait si la combustion était mieux faite, et la quantité de chaleur qu'elle lance par voie de rayonnement vers le ciel du foyer et des parois, doit être notablement réduite. Un seul avantage peut contre-balancer une partie des inconvénients qui viennent d'être signalés, c'est celui qui résulte de l'augmentation de la surface de contact entre la masse de combustible incandescent et les parois métalliques du foyer; il peut en résulter un accroissement dans l'activité de la vaporisation; mais tout porte à croire que c'est au détriment de l'économie du combustible.

Il est incontestable que, dans beaucoup de cas, il y a production d'oxyde de carbone dans les foyers de machines locomotives; on le reconnaît en entr'ouvrant la porte: la flamme bleuâtre qui se produit dans ce cas dénote la présence de ce gaz; or, elle ne se produit pas lorsque le feu est bas. Hâtons-nous de dire toutefois que, lors même que les choses se passeraient exactement comme l'indique la théorie, ce ne serait pas, dans tous les cas, un motif suffisant pour faire réduire la charge du combustible à la dernière limite, car il faut tenir compte des nécessités de conduite de la machine elle-même. Le feu ne peut pas être, à chaque instant et dans toutes les circonstances, rechargé avec du coke froid; le chargement du coke doit être combiné avec l'alimentation, avec le profil du chemin et la dépense de vapeur, de telle sorte que la tension de celle-ci ne tombe pas au-dessous de certaines limites; que la machine, en un mot, ne vienne pas à *manquer de vapeur*; les conditions mêmes du service peuvent conduire à maintenir une certaine épaisseur de combustible qui peut être trop forte pour satisfaire aux conditions d'une combustion parfaite.

Les développements qui précèdent indiquent suffisamment combien il serait utile d'étudier, par voie d'expériences de laboratoire et de service, comment la combustion a lieu dans l'intérieur d'une chaudière de machine locomotive. Il faudrait: 1° déterminer comment sont composés les produits de la combustion dans les différentes circonstances où un foyer peut se trouver placé, et pour différents foyers, suivant que la charge sur la grille est haute ou basse, le coke dense ou léger, en gros ou en menus fragments, pur ou impur; le tirage modéré ou très-actif; 2° évaluer la température des gaz dans le foyer, au-dessus du combustible, suivant la hauteur de la charge; 3° examiner comment varie l'intensité du tirage, pour produire une même vaporisation, suivant que le mécanicien travaille habituellement avec une forte ou une faible charge de coke sur la grille; 4° rechercher quelle est la hauteur à laquelle il convient de maintenir habituellement la charge de coke, pour obtenir du combustible le maximum d'effet utile, sans compromettre la régularité de la vaporisation, com-

meut il faut la faire, varier suivant les pentes et les rampes, le temps depuis lequel le feu est allumé, etc., formuler, en un mot, les instructions à donner aux mécaniciens qui conduisent les machines.

Quoique nous manquions de données expérimentales un peu complètes sur cette question, il y a un certain ensemble de faits qui indique dans quel sens elle doit être résolue. L'aspect du feu pendant la marche, l'activité de vaporisation qu'obtiennent les mécaniciens lorsque, arrivant au terme de leur voyage, ils restent pendant les 20 ou 30 derniers kilomètres sans recharger le feu, la différence dans l'activité de la combustion et de la vaporisation qu'on observe à la montée et à la descente des rampes, l'exemple des constructeurs qui se sont toujours fait remarquer par la bonne entente de toutes les dispositions, etc., montrent qu'il y a tout avantage à ne pas exagérer la hauteur du coke sur la grille. Il semble, quant à présent, et à défaut de données plus précises, que la hauteur la plus convenable des tubes inférieurs au-dessus de la grille est 0^m 50; cela n'empêche pas, si l'on cherche à tout prix à augmenter la surface de chauffe du foyer, d'augmenter sa profondeur; mais il faut éviter alors de laisser monter la charge jusqu'aux tubes.

On observe, dans quelques anciennes machines, une disposition, dont le but était peut-être seulement de donner aux mécaniciens le moyen de constater l'état du feu, sans déterminer une trop grande rentrée d'air, et qui pourrait être utilisée, sans doute, pour régler la combustion; deux trous, d'environ 0^m 04 de diamètre sont percés dans la porte et fermés à volonté, en totalité ou en partie, par un double papillon; en démasquant plus ou moins ces ouvertures, suivant l'état de la charge de coke, on brûlerait, au-dessus de sa surface et dans les tubes, l'oxyde de carbone qui se forme lorsque le combustible est en quantité trop considérable, et il y a tout lieu de croire qu'un emploi intelligent de cette disposition permettrait d'obtenir un plus grand effet utile du combustible. Elle vient d'être adoptée, en Angleterre, au foyer Douglas, dont nous avons parlé précédemment.

Il convient de faire remarquer cependant que depuis notre première édition, de laquelle sont extraites les observations qui précèdent, la question a fait de grands progrès. On sait maintenant sur tous les chemins qu'il y a de sérieux inconvénients à exagérer la charge de combustible et avantages à la réduire dans de certaines limites. Il est cependant à regretter que les expériences commencées par MM. Sauvage et Ebelmen et interrompues par la mort de ce dernier n'aient pas été reprises sur une grande échelle.

3^e TRANSMISSION DE LA CHALEUR A TRAVERS LES PAROIS. — La transmission de la chaleur à travers les corps solides présente une grande analogie avec l'écoulement des fluides; de même que pour ceux-ci une certaine différence de pression entre les deux extrémités de la conduite est nécessaire pour produire l'écoulement de l'eau ou des gaz, de même une certaine différence de température est nécessaire pour que la chaleur se transmette d'un côté à l'autre d'une paroi métallique d'une épaisseur déterminée; la transmission sera d'autant plus rapide, que la différence de température sera plus considérable et que la paroi sera moins épaisse. Il n'est donc pas indifférent, dans la construction d'une machine locomotive, de donner plus ou moins d'épaisseur aux parois du foyer et aux tubes; s'il convient de porter cette épaisseur à une certaine limite, pour augmenter leur durée et éviter des réparations trop fréquentes, il convient également de ne pas l'exagérer pour ne pas restreindre la facilité de transmission de la chaleur; cette condition s'accorde, du reste, avec la nécessité de ne pas augmenter indéfiniment le poids de l'appareil et les frais que nécessite sa construction; les dimensions adoptées actuellement paraissent convenables, et rien n'indique qu'on soit conduit à les accroître.

Si les observations qui précèdent n'ont pour objet que de poser un principe qui, en fait, n'a pas d'application, il en est une autre dont l'importance est capitale et sur laquelle nous insisterons spécialement, bien que nous ayons eu déjà l'occasion de la présenter. La conductibilité des corps, ou la facilité avec laquelle ils

transmettent la chaleur, varie dans des limites très-étendues, suivant leur nature; si l'on cherche à établir comment les différents corps sont classés sous le rapport de la facilité avec laquelle la chaleur se propage dans leur masse, ce qui donnera, sinon la mesure, du moins l'indication de la facilité plus ou moins grande avec laquelle ils transmettent la chaleur d'une paroi à l'autre, on trouve que la conductibilité de certains métaux, comme l'or, l'argent, le platine et le *cuivre*, varie entre 1,000 et 900; que celle d'autres métaux, comme le fer, le zinc et l'étain, varie entre 400 et 300, et que celle des matières terreuses, comme le marbre, la terre cuite, la porcelaine, est inférieure à 30. Il en résulte, d'une manière incontestable, que les incrustations qui se forment sur les parois extérieures du foyer et des tubes, lorsque les eaux sont chargées de matières sédimentaires, deviennent promptement une cause d'augmentation de dépense de combustible, lorsqu'elles atteignent une épaisseur un peu notable. Ce fait est, du reste, suffisamment démontré par la rapidité avec laquelle s'usent les tubes et les foyers à l'intérieur, lorsqu'ils sont incrustés à l'extérieur, et lorsqu'ils sont, par suite, soumis constamment à une haute température, qui ne serait pas atteinte si l'eau baignait constamment le métal, ou si les matières terreuses qui les enveloppent avaient une conductibilité comparable à celle des métaux.

Les chiffres qui précèdent expliquent aussi pourquoi on a intérêt à employer pour le foyer le *cuivre* et pour les tubes le *laiton*, au lieu du fer, comme le font quelques constructeurs. Les tubes de *cuivre rouge*, qui ont été employés dans quelques cas, seraient préférables à ceux de *laiton*, s'ils ne devaient pas être construits avec un métal assez dur pour résister à l'usure produite par le frottement des escarbilles qu'entraîne le courant d'air; cette question ne peut pas être d'ailleurs considérée comme entièrement résolue, et il y aurait lieu de l'examiner à fond, au moyen d'expériences bien comparables, maintenant surtout qu'on s'habitue à brûler la houille crue et qu'on est parvenu à améliorer la qualité du coke en augmentant sa densité et en diminuant sa friabilité.

1^o SURFACE DE CHAUFFE DU FOYER ET DES TUBES. — L'économie du combustible se rattache directement à la question des surfaces de chauffe; il est évident, tout d'abord, que pour produire, dans un temps donné, une quantité déterminée de vapeur, toutes choses égales d'ailleurs, la dépense de combustible sera d'autant moins grande que la chaleur sera mieux utilisée, et que les produits de la combustion arriveront avec une température moins élevée dans la boîte à fumée. Il importe donc de multiplier, autant que possible, les surfaces qui reçoivent l'action de la chaleur et la transmettent à la masse d'eau à vaporiser, soit par contact et par rayonnement du combustible, soit par rayonnement du combustible et par contact des gaz chauds, soit par simple contact des gaz chauds; le premier mode de transmission a lieu dans la partie inférieure du foyer; le second, dans sa partie supérieure, et le dernier dans les tubes. Pour augmenter le pouvoir de vaporisation de la chaudière, ou pour rendre plus complète la transmission de la chaleur destinée à produire une vaporisation donnée, il faut augmenter les surfaces sur lesquelles s'exerce chacune des actions que nous avons spécialisées; c'est, en effet, ce que les constructeurs se sont appliqués à faire, au fur et à mesure qu'on a demandé aux machines plus de puissance et de vitesse, au fur et à mesure qu'on s'est appliqué à rendre plus restreinte la consommation du combustible. L'étendue de la surface de chauffe doit être aussi grande que possible, ou plus exactement aussi grande qu'on peut le faire sans dépasser les limites du poids total de l'appareil, et celles qu'il convient d'assigner à la répartition de ce poids sur les supports, sans cesser de satisfaire aux conditions de bonne construction et de solidité. Mais il n'est pas indifférent de faire porter cette augmentation sur telle ou telle partie de la surface de chauffe, et pour chaque partie d'augmenter telle dimension plutôt que telle autre; il est évident, en effet, qu'à mesure égale, l'augmentation de surface de chauffe dans le foyer est plus efficace que dans les tubes; il est évident également qu'il n'est pas indifférent d'augmenter la hauteur ou les dimensions transversales du foyer, la longueur ou le nombre des tubes pour arri-

ver à une même augmentation de surface dans chacune de ces parties.

En faisant varier la hauteur de la boîte à feu sans rien changer à ses dimensions transversales, on augmente le développement des parois verticales; mais, en même temps, on est conduit à augmenter la hauteur de charge de coke sur la grille et à modifier d'une manière désavantageuse les conditions de la combustion, et de plus on rend moins efficace le rayonnement, car les éléments de la physique apprennent que la quantité de chaleur, émise vers une surface par un corps chaud et reçue par cette surface, est proportionnelle au sinus de l'angle d'incidence et en raison inverse du carré de la distance; en approfondissant le foyer pour augmenter sa surface, on altère tout à la fois le mode de combustion, les conditions du rayonnement vers la partie supérieure des parois verticales et vers le ciel du foyer. C'est donc surtout par voie d'élargissement du foyer qu'il faut procéder, si l'on veut se placer dans les conditions les plus favorables pour accroître la vaporisation et tirer du combustible l'effet le plus avantageux. Des remarques analogues s'appliquent aux tubes; en augmentant leur longueur, on augmente les difficultés du tirage et on diminue l'effet utile de la vapeur, tandis qu'en augmentant leur nombre pour arriver à un même développement de surface de chauffe, on augmente la section des tuyaux d'écoulement, sans augmenter leur longueur, et, par suite, on améliore les conditions du tirage.

C'est donc à la fois par l'augmentation des dimensions horizontales du foyer, et par l'augmentation du nombre des tubes qu'on doit arriver à l'augmentation de la surface de chauffe qu'il convient du reste de porter au degré le plus élevé que comportent les autres conditions imposées au constructeur. On est conduit par là à augmenter le diamètre des chaudières (partie cylindrique), la largeur et la longueur du foyer, et subsidiairement à faire usage du châssis extérieur, qui se prête mieux que le châssis intérieur à l'augmentation du diamètre, qui permet seul de donner au foyer sa largeur maximum, et enfin à placer la paire de roues d'arrière

à l'arrière du foyer, ce qui permet d'allonger celui-ci de toute la quantité nécessaire. Nous verrons, du reste, que d'autres considérations conduisent au même résultat, de telle sorte que les dispositions que nous venons d'indiquer sont celles qui répondent le mieux aux nécessités de la construction.

Il ne suffit pas de donner de grandes dimensions à la surface de chauffe; il est nécessaire de proportionner entre eux les éléments de cette surface de chauffe. Des rapprochements faits sur un grand nombre de machines et la discussion des propriétés de chacune d'elles, ont conduit l'un d'entre nous à formuler comme règle pratique la proportion de 1 à 10 entre la surface de chauffe et celle des tubes; cette proportion convient à des combustibles de qualité médiocre; elle peut être modifiée et ramenée à $1/12^e$, peut-être même à $1/15^e$ pour les combustibles purs ou d'une combustion facile comme le bois.

5° TRAVAIL DE LA VAPEUR DANS LES CYLINDRES. — Nous avons établi suffisamment l'importance de la détente, au point de vue de l'économie du combustible, en faisant ressortir dans les notions préliminaires l'augmentation de l'effet utile que pouvait produire la détente, au fur et à mesure qu'elle était prolongée pendant une plus grande partie de la course; l'expérience démontre du reste clairement son utilité, soit lorsqu'elle est obtenue par l'avance et le recouvrement, soit lorsqu'elle est rendue variable par l'emploi de la coulisse de Stephenson, quelque imparfait que soit cet appareil en théorie. Les expériences que nous rapporterons plus loin font voir que, malgré le rétrécissement considérable des lumières, la détente de Stephenson elle-même est d'autant plus avantageuse, qu'elle est plus prolongée. Il convient donc, lorsque l'on combine les plans d'une machine, de disposer les cylindres et de déterminer leur diamètre en considération de ce résultat, de telle sorte que le mécanicien ne soit conduit qu'accidentellement et par exception, pour démarrer des trains très-chargés, à admettre la vapeur pendant la plus grande partie de la course. La détente fixe avait permis d'augmenter le diamètre des cylindres et de le porter

de 0^m 33 à 0^m 38; on le porte maintenant à 0^m 40, et au delà, pour des machines de même puissance.

Nous avons également montré quel intérêt il y avait à faire travailler la vapeur à une tension élevée; cela a été tellement senti dans les machines locomotives, que la limite de tension dans les chaudières a été portée successivement de 4 à 8 atmosphères; les constructeurs anglais dépassent même cette limite. L'utilité de la haute pression se manifeste particulièrement dans les machines où l'on fait usage de la coulisse de Stephenson pour détendre la vapeur jusqu'aux derniers crans du secteur; les orifices des lumières n'étant plus découverts que de quantités très-petites, la tension de la vapeur éprouve une réduction considérable pendant l'admission, et ne peut arriver à un degré convenable qu'autant que la pression qui produit l'écoulement à travers l'orifice rétréci est elle-même très-forte. Avec 7 atmosphères de tension dans la chaudière, on peut arriver à 3 ou 4 atmosphères de pression absolue dans les cylindres, et employer la vapeur dans des conditions qui ne sont pas trop désavantageuses.

L'augmentation de la tension de la vapeur nécessiterait une augmentation correspondante dans les épaisseurs, et, par suite, dans le poids de la chaudière, si ces dimensions étaient à leur limite pratique; mais, généralement, on a donné un surcroît d'épaisseur à la partie cylindrique, et un surcroît de solidité aux entretoises de la boîte à feu, ainsi qu'aux armatures qui soutiennent le ciel du foyer, et les machines construites anciennement pour travailler à 5 atmosphères peuvent être chargées à 7 atmosphères sans inconvénient, si elles sont en bon état; le bénéfice de l'accroissement de tension reste entier. Le mouvement de déplacement des tiroirs étant de beaucoup réduit dans les fortes détentes, le travail résistant, qui résulte de la grande différence de pression entre le cylindre et la boîte du tiroir, reste compris sensiblement dans les mêmes limites que si le tiroir conservait toute sa course, avec une pression réduite par la fermeture du régulateur. Il n'y a donc pas non plus de ce côté d'inconvénient sensible à élever la tension de la vapeur dans la chaudière.

Il est nécessaire de combiner la forme et la position des cylindres, de manière à faciliter le dégagement de la vapeur, et afin de diminuer la contre-pression, qui persiste derrière le piston pendant l'échappement, et qui est nécessaire pour produire l'écoulement. Pour cela, il faut réduire au strict nécessaire la longueur du tuyau d'échappement, depuis son origine jusqu'à son orifice, faire disparaître ou arrondir les coudes brusques, et augmenter la section des orifices et des tuyaux, autant que le comporte l'intensité du tirage que l'on doit se réserver la facilité de produire. En augmentant la section des tuyaux d'échappement, on augmente aussi leur volume, et l'échappement n'a plus, à l'orifice de la tuyère, la même vigueur que si, entre cet orifice et le cylindre, la vapeur ne trouvait qu'une capacité restreinte, où elle ne se détendrait pas et ne perdrait pas la vitesse qui lui imprime la tension qu'elle a dans l'intérieur du cylindre. Nous ferons remarquer toutefois que, s'il existe en principe des limites entre lesquelles la section des conduits d'échappement doit être maintenue, en fait, les exigences de la construction même des cylindres, notamment en ce qui concerne les tiroirs, qui ne peuvent avoir qu'une longueur et une course déterminées, font rester au-dessous des dimensions que l'on pourrait atteindre sans nuire d'une manière sensible au tirage; il y a même lieu de croire qu'en raison de la grande surface de grille et de la grande surface de chauffe que l'on donne actuellement aux machines, il y aurait encore avantage à dépasser les dimensions les plus grandes que les constructeurs aient adoptées jusqu'ici pour la section des conduits d'échappement.

6^e ENTRAÎNEMENT DE L'EAU ET CONDENSATION. — La quantité d'eau dépensée dans une machine locomotive est loin de correspondre au travail moteur développé par la vapeur. Nous avons déjà indiqué jusqu'à quel point l'entraînement de l'eau pouvait être considérable, et quelle influence nuisible il exerçait; comment on pouvait, jusqu'à un certain point, y remédier dans les machines construites dans des conditions défavorables; il nous reste à exa-

miner quelles doivent être les règles à suivre pour arriver à l'économie de vapeur et de combustible, par une disposition bien entendue des chaudières.

L'activité de la vaporisation rend nécessairement l'ébullition très-tumultueuse, l'eau se tuméfie à la surface, des gouttelettes d'eau sont projetées en tous sens, l'eau peut même devenir mousseuse si elle renferme des matières grasses en suspension ou en dissolution, introduites pendant les réparations, amenées avec l'eau d'alimentation ou provenant des garnitures. Il faut donc avant tout que la chambre de vapeur ait dans toutes ses parties une hauteur suffisante, pour qu'il reste, au-dessus de la surface de l'eau, un espace suffisant pour le mouvement de la vapeur qui s'écoule vers la prise de vapeur. On remarque, en effet, que dans certaines machines où l'on n'a pas ménagé un espace suffisant entre les tubes et le sommet du corps cylindrique de la chaudière, quelle que soit la position du dôme de prise de vapeur, à l'avant ou à l'arrière, il y a toujours un entrainement d'eau considérable, qu'on ne peut faire cesser qu'en laissant tomber le niveau de l'eau très-bas; le courant de vapeur vers l'orifice d'écoulement s'établit trop près de la surface de l'eau, et l'eau elle-même, qui forme la zone superficielle tuméfiée ou mousseuse, ou qui est en suspension à l'état de gouttelettes, est entraînée vers le régulateur et passe en partie dans les cylindres. Cet effet est particulièrement sensible dans les machines dont le dôme de prise de vapeur, placé au-dessus du foyer, ne présente qu'un segment de cylindre d'une assez faible hauteur au-dessus de la surface de l'eau, et dans lesquelles cet espace est obstrué par des tirants et un tuyau de prise de vapeur en fonte; lorsque le mécanicien ouvre le régulateur, l'eau s'élève considérablement dans le tube indicateur, et la machine crache d'une manière presque continue; puis, lorsque l'alimentation ne vient pas réparer la consommation d'eau qui a lieu, il arrive un moment où le niveau tombe brusquement et se maintient très-bas dans le tube indicateur. L'inverse aurait lieu si le dôme de prise de vapeur était transporté à l'avant de la machine; et la dénivellation pourrait devenir telle, que le foyer, au lieu de

se découvrir lorsque la machine s'arrête, se découvrir pendant la marche. Dans le premier cas, on améliore ces machines en appliquant un second dôme sur le corps cylindrique, sans toucher à celui de la boîte à feu ou *vice versa*, et en prenant la vapeur sur deux points à la fois.

La hauteur du réservoir de vapeur est donc une chose essentielle; il faut qu'elle soit telle que le mouvement de transport de la vapeur puisse se faire d'une extrémité à l'autre, sans que la zone d'eau superficielle puisse être déplacée. Parmi les machines qui paraissent jusqu'ici dans les meilleures conditions sous ce rapport, on peut signaler celles que M. E. Gouin a construites pour le chemin de fer de Paris à Lyon (*pl. 64, et pl. 65, fig. 2 et 3*), dans lesquelles le dôme est placé à l'avant, et dont le réservoir de vapeur dans le corps cylindrique a 0^m,325 de hauteur, et plus tard, celles qu'il a construites pour le chemin de fer du Midi.

Il n'est pas indifférent de donner au réservoir de vapeur une grande capacité, il faut en effet que le volume de vapeur enfermé dans la chaudière soit tel, qu'à l'ouverture du régulateur ou au milieu de la course des pistons, la vapeur se précipitant en grande quantité dans l'espace vide des tuyaux de distribution, ou pour remplir le volume engendré par les cylindres, il n'y ait pas une diminution trop sensible de pression qui occasionnerait un bouillonnement et une projection d'eau considérables; mais les cylindres puisent leur vapeur dans un tuyau commun, souvent même dans une boîte de tiroir commune, et l'écoulement de la vapeur se fait avec une régularité assez grande pour que l'inconvénient signalé ne se produise pas; d'un autre côté les mécaniciens sont habitués à n'ouvrir que très-graduellement le régulateur, afin même d'éviter un houloulement subit de la masse d'eau au moment du départ. La réduction de capacité du réservoir de vapeur n'aurait donc qu'un inconvénient restreint, si elle n'avait pas en même temps pour conséquence la diminution en hauteur de l'espace qui reste libre au-dessus de l'eau.

Nous avons conseillé de placer le dôme de prise de vapeur vers l'avant de la machine, parce que c'est dans cette partie que l'ébul-

lition est la moins active, et que la tuméfaction de l'eau au-dessus de son niveau normal est la moindre; la base du dôme de prise de vapeur reste mieux dégagée, et l'orifice d'écoulement ne peut pas être atteint par les gouttelettes d'eau que les bulles de vapeur peuvent projeter à une grande hauteur, lorsqu'elles se dégagent sans obstacle entre les parois des boîtes à feu intérieure et extérieure. Les bulles de vapeur qui se forment dans le corps cylindrique doivent du reste être divisées par les tubes, et ne doivent pas avoir au même degré la faculté de projeter l'eau, indépendamment de la moindre activité de la vaporisation.

Les considérations qui précèdent conduisent à augmenter autant que possible le diamètre du corps cylindrique, afin que, tout en y plaçant un très-grand nombre de tubes, on puisse laisser vide d'eau, et conserver pour former le réservoir de vapeur, une grande partie du cylindre.

La condensation de l'eau dans les cylindres, indépendamment de l'entraînement mécanique, contribue pour beaucoup à mettre la dépense d'eau hors de proportion avec celle de vapeur, surtout lorsque les machines sont à cylindres extérieurs; elle est elle-même la conséquence de l'entraînement de l'eau. La détente doit donner lieu à une condensation considérable, en déterminant la vaporisation de l'eau liquide entraînée dans le cylindre, et par suite, en refroidissant les parois du cylindre et le piston, de telle sorte que la vapeur qui arrive de la chaudière doit se condenser en partie pour réparer la perte de chaleur; la même chose a lieu pour l'échappement; mais, lorsqu'on détend avec la coulisse de Stephenson, cet inconvénient est compensé en partie par la compression qui fait porter l'effet de la condensation sur la vapeur qui a travaillé et dont l'écoulement se trouve intercepté.

Le refroidissement extérieur des cylindres doit être combattu par l'application d'une couverture peu conductrice; mais le refroidissement intérieur résulte de l'action même de la vapeur; on ne peut le combattre qu'en s'appliquant à introduire la vapeur aussi peu mouillée que possible. M. Polonceau a constaté que l'emploi d'une enveloppe dans laquelle circule la vapeur, avant de pénétrer

dans le cylindre, donnait de très-bons résultats; mais cette disposition qui est obligée dans toutes les machines fixes à condensation, a moins d'efficacité ou d'utilité pour les machines à haute pression, et la complication qu'elle apporte à la construction des locomotives peut être un obstacle à son emploi.

On a proposé divers moyens pour dessécher la vapeur en la surchauffant; il y a sans doute d'utiles recherches à faire dans cette direction, mais, jusqu'ici, il n'a pas été fait d'expériences concluantes et ce qui concerne les machines locomotives.

§ 4. — Vitesse et puissance de traction.

La vitesse et la puissance de traction des machines locomotives sont en quelque sorte la manifestation, sous deux formes diverses, du travail utile que peut produire la vapeur sur les pistons; une même quantité de travail moteur peut être employée à faire parcourir au point d'application d'une résistance, relativement faible, un espace très-grand dans l'unité de temps, ou à faire parcourir au point d'application d'une résistance considérable un espace restreint; si le produit des valeurs numériques de ces deux éléments reste le même pour deux machines appropriées chacune à l'un de ces deux effets, on pourra dire, d'une manière générale, que la puissance de ces machines est la même, bien que cette puissance se manifeste par des résultats différents. La puissance d'une machine locomotive, envisagée à ce point de vue général, dépend uniquement de la capacité de vaporisation dont elle est douée, c'est-à-dire de la quantité de vapeur que la chaudière peut produire dans l'unité de temps, et du volume que le mouvement des pistons peut engendrer dans les cylindres pendant cette même unité de temps, en raison même des dispositions des organes principaux du mécanisme, volume qui devrait être exactement égal à celui de la vapeur produite, si la tension de celle-ci restait la même dans la chaudière et dans les cylindres, et si la condensation n'annulait pas une partie de l'effet de la vapeur. Il ne suffit pas en effet qu'une machine ait un grand pouvoir de vaporisation pour prendre une grande

vitesse avec des convois légers, ou pour remorquer à une vitesse modérée des convois de marchandises lourdement chargés; il faut encore que la capacité des cylindres soit assez grande, et que cette capacité soit remplie un assez grand nombre de fois, pour que toute la vapeur produite soit utilement dépensée. Inversement, une machine qui aurait des cylindres trop grands, et dont l'essieu moteur ferait un trop grand nombre de révolutions pour que la vapeur pût remplir le volume engendré par les pistons à une tension voisine de celle qui existe dans la chaudière, serait frappée d'impuissance, car la pression sur les pistons serait restreinte et l'effet obtenu ne correspondrait pas à celui que comporte leur surface.

Une machine ne peut donc réaliser le maximum de puissance, dont la chaudière est susceptible, que si les organes moteurs sont bien proportionnés à la vaporisation qu'elle peut produire, et *vice versa*. Il est très-difficile, si ce n'est impossible, d'établir *a priori* quel rapport il convient d'établir entre ces deux éléments principaux d'une machine, entre la production et la dépense de vapeur; en effet, ces éléments sont affectés par de nombreuses causes dont l'influence ne peut pas être mesurée exactement; on ne sait pas quelles sont les quantités de vapeur produites respectivement par la surface de chauffe du foyer, et par celle des tubes; la vaporisation ne dépend pas seulement de la surface de chauffe, elle dépend, en grande partie, des dispositions qui concourent à produire le tirage, des lumières d'échappement, des tuyaux et de l'orifice d'échappement, de la cheminée, de la section, du nombre et de la longueur des tubes, de la forme du foyer, de la qualité et de la forme du combustible, etc. La dépense de vapeur, surtout si l'on a égard à la dépense utile qui peut se représenter par un travail utile produit, ne dépend pas seulement du volume que les pistons engendrent par leur course, elle dépend aussi du règlement de la distribution, de la forme et de la dimension des lumières, de la condensation, etc. On ne peut donc pas établir des règles théoriques à ce sujet, on ne peut citer que des exemples. C'est ainsi que l'on peut considérer comme se trouvant à la limite du pouvoir de vaporisation, par rapport aux dimensions établies pour

le mécanisme, les machines à voyageurs et à marchandises des chemins de fer du Nord et de Rouen, qui donnent de bons résultats avec du coke de bonne qualité, qui ne feraient qu'un service médiocre ou mauvais avec du coke de qualité inférieure; c'est ainsi encore que l'on peut considérer, comme ayant un pouvoir de vaporisation largement suffisant pour supporter toutes les qualités de coke que l'on rencontre dans le commerce, les machines mixtes, construites par M. E. Gouin, pour le chemin de fer de Lyon et pour le chemin de fer du Midi; les premières machines à voyageurs du chemin de fer de Tours à Nantes, et en général toutes les machines sorties des ateliers de la maison Sharp, de Manchester, ou construites sur ses plans. Dans tous les cas, il convient de donner à la surface de chauffe et de disposer les organes de l'appareil de tirage de manière à mettre la machine en état de produire un excès de vapeur; car, si l'on a soin de réduire cette production à ce qui est strictement nécessaire pour le service auquel la machine est affectée, on diminue l'effet nuisible du tirage artificiel, qui n'est jamais obtenu, et qui n'est surtout rendu très-énergique qu'au détriment du travail utile de la machine; c'est au profit de l'économie du combustible qu'on renonce à obtenir de la machine toute la puissance dont son générateur de vapeur est capable.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des moyens de produire la puissance des machines; il faut encore que les moyens de transmission soient suffisants. On n'a pas tout fait lorsqu'on a mis une machine en état de produire sur ses pistons un travail considérable, il faut encore qu'on puisse utiliser ce travail et l'appliquer au travail résistant qu'il doit surmonter: il faut, pour cela, que l'adhérence des roues motrices soit suffisante; cette adhérence résulte à la fois de la pression exercée sur le rail, ou, plus exactement, du frottement que cette pression développe pour empêcher le glissement, et du rayon des roues ou du bras de levier à l'extrémité duquel s'applique ce frottement. Le frottement d'adhérence peut être évalué à $\frac{1}{3}$ sur des rails secs, à $\frac{1}{10}$ sur des rails humides et glissants, on peut adopter pour le calcul des machines le

coefficient 1/6. C'est au moyen de ce dernier chiffre que l'on pourra établir le rapport convenable entre l'adhérence et les organes de la puissance motrice. Dans aucun cas, soit dans les machines à roues indépendantes, soit surtout dans les machines à roues accouplées, on ne doit exagérer leur puissance de traction, relativement à l'adhérence, car elles patineraient fréquemment, et subiraient une prompte dégradation. L'adhérence doit être suffisante, même pour le cas où la vapeur agit à pleine pression et avec une tension élevée sur les pistons, pour produire le démarrage ; car les rails étant généralement gras et glissants aux points habituels de stationnement des machines, il arrive souvent que les machines patinent en démarrant ; cet inconvénient serait bien plus marqué si l'adhérence normale était déjà trop faible par elle-même.

Lorsqu'on ne peut pas arriver, par la charge des roues, à une adhérence suffisante, il faut augmenter leur diamètre, ce qui, dans certaines limites, est avantageux même pour la puissance des machines : une fois qu'elles sont lancées, on trouve une source d'économie de vapeur dans la vitesse moindre d'oscillation des organes moteurs, et la moindre fréquence des admissions et des échappements de vapeur. On peut citer comme exemple les premières machines à marchandises du chemin de fer du Nord, dont les pistons ont 0^m 38 de diamètre et 0^m 61 de course, avec des roues de 1^m 22 de diamètre ; le poids total de 22 à 23 tonnes de ces machines, dont les six roues sont accouplées, est à peine suffisant pour l'adhérence, et il y a tout lieu de croire qu'elles auraient gagné en puissance pendant la marche, si le diamètre des roues avaient pu être porté à 1^m 40 ou 1 50 ; elles auraient démarré avec moins de facilité, par un temps sec, qu'avec les roues actuelles, mais beaucoup plus facilement lorsque les rails sont gras ou humides ; dans tous les cas elles seraient d'un usage plus économique, comme réparation et consommation, car le service de ce chemin exige une vitesse assez considérable, qui peut, dans beaucoup de circonstances, cesser d'être en rapport avec le diamètre de leurs roues.

La puissance de la machine se traduit en *vitesse* si l'on donne

aux roues motrices de grands diamètres : en *puissance de traction* ou le remorquage des lourds convois, si l'on donne au contraire aux roues motrices de petits diamètres. Il semble au premier abord que l'on pourrait faire varier arbitrairement les éléments qui constituent la puissance d'une machine et qui lui donnent son caractère, pourvu que les rapports que nous venons d'indiquer fussent observés ; qu'il serait indifférent que les roues fussent grandes ou petites, la vitesse de translation que l'on s'est proposé de réaliser pouvant être atteinte moyennant une vitesse de rotation de l'essieu moteur et des roues inversement proportionnelles à leur diamètre. Cela serait vrai théoriquement si la vitesse de rotation des roues, ou celle d'oscillation des pièces du mécanisme, qui en est la conséquence, ne devait pas elle-même être comprise dans certaines limites ; mais il n'en est pas ainsi, et la nécessité d'obtenir une adhérence efficace, ne doit pas seule être prise en considération lorsqu'on fixe le diamètre des roues. Une vitesse de rotation trop grande des roues motrices, des oscillations trop fréquemment répétées des pistons et de leurs accessoires présentent de graves inconvénients ; l'inertie des masses en mouvement donne lieu, comme nous le verrons plus loin, à des efforts intérieurs qui fatiguent les pièces et leurs assemblages ; les conditions d'admission et d'échappement deviennent mauvaises ; la vapeur perd une trop grande partie de sa tension en entrant dans les cylindres ; elle détermine une contre-pression trop forte derrière le piston pendant la période d'échappement ; l'usure du mécanisme fait des progrès trop rapides, et la machine, en définitive, se trouve placée dans de mauvaises conditions de service. Il est donc nécessaire que le diamètre des roues soit approprié à la vitesse normale de translation des machines, indépendamment de tout autre rapport à établir entre les autres éléments de la machine, entre ces éléments eux-mêmes et ce diamètre.

En observant ce qui a lieu dans l'exploitation des chemins de fer, on reconnaît que la vitesse de rotation des roues motrices est dans les conditions les plus favorables lorsqu'elle oscille autour du chiffre de deux tours et demi par seconde ; à cette vitesse les organes de la machine n'éprouvent pas une usure trop rapide, l'introduction et

la sortie de la vapeur se font dans des conditions assez bonnes; la vitesse de trois tours de roues peut être encore atteinte sans trop d'inconvénient, pourvu qu'elle ne soit pas habituelle.

Nous n'avons pas du reste la prétention de poser là une règle absolue; dans chaque cas particulier il peut y avoir des motifs pour s'en écarter plus ou moins; ainsi, pour les convois de marchandises où l'on a tout avantage à sacrifier la vitesse et la régularité de marche à l'importance des charges remorquées et à l'économie des dépenses, il y a tout avantage à restreindre la vitesse d'oscillation du mécanisme; il peut y avoir au contraire intérêt, pour le transport des voyageurs à grande vitesse, à dépasser la vitesse normale que nous avons indiquée, car la vitesse de translation à laquelle tout est sacrifié pourrait, si l'on suivait strictement la règle posée, conduire à des diamètres de roues trop grands pour la fabrication, et à des machines d'une construction difficile et coûteuse; dans ce cas, on aurait tout avantage à sacrifier quelque chose sur l'entretien et la consommation pour atteindre le but cherché.

Nous avons réuni, dans le tableau ci-joint, les différents diamètres des roues motrices employées jusqu'ici sur nos chemins de fer, les vitesses de translation des machines suivant le nombre de tours de roue effectués en 1", et les vitesses auxquelles on règle communément la marche de ces machines sur les différents chemins de fer :

DIAMÈTRE DES ROUES.		VITESSES DE TRANSLATION CALCULÉES EN KILOMÈTRE À L'HEURE.		VITESSES MOYENNES adoptées pour la marche en service.
En mètres.	En pieds anglais.	A 3 tours par 1".	A 2 tours 1/2 par 1".	
	Pieds.	Kilom.	Kilom.	Kilom.
1 m 22	4 "	41,4	34,5	25 à 30
1 51	5 "	51,2	42,7	35 à 40
1 68	5 1/2 "	57,0	47,5	45 à 50
1 85	6 "	61,50	51,5	50 à 60
2 10	7 "	72,5	60,5	60 à 75

Les nombres contenus dans la dernière colonne correspondent aux vitesses de marche réglées par les ordres de service (déduction faite des temps d'arrêt, et du temps perdu pour démarrer et pour arrêter): ces vitesses ne sont qu'une moyenne, et comportent des écarts qui rentrent dans les limites des nombres de la troisième colonne; de telle sorte qu'on peut bien en réalité considérer la règle que nous avons donnée comme conforme aux résultats de l'expérience.

Les résistances de toute nature qui s'opposent à la marche des convois, croissent très-rapidement avec la vitesse; il faut donc, pour remorquer des charges un peu considérables avec des vitesses un peu grandes, employer des machines très-puissantes. Nous citerons comme exemple les machines du système Crampton qui peuvent atteindre, sur le profil accidenté du chemin de fer du Nord, des vitesses de 100 kilomètres avec une charge de cinq à six wagons à quatre roues, et les machines mixtes avec quatre roues accouplées de 1^m 80 de diamètre, que l'on construit maintenant dans beaucoup de cas et qui peuvent facilement remorquer, sur des profils également accidentés, des convois de dix à douze wagons à six roues, chargés, à une vitesse moyenne de 60 kilomètres à l'heure.

§ 5. — Répartition des points d'appui.

Nous avons indiqué sommairement comment devait être réparti le poids d'une machine sur ses points d'appui, nous reviendrons encore sur cette question lorsque nous traiterons de la *stabilité*; mais la répartition de ce poids n'est pas seule à prendre en considération: la position des essieux, leur écartement, l'influence que cette position exerce sur la répartition du poids, les rapports à établir entre ces divers éléments et le tracé en plan du chemin de fer, méritent une attention toute spéciale. Reportons-nous d'abord à l'origine de la machine locomotive, et indiquons les phases successives par lesquelles a passé la question qui nous occupe.

1° COUP D'ŒIL RÉTROSPECTIF. — A part quelques essais que nous avons mentionnés dans l'introduction, la machine locomotive, à son origine, reposait sur quatre points d'appui seulement (fig. 1, 2 et 3, pl. 50). Après quelques tâtonnements on était arrivé d'une manière définitive à placer l'essieu moteur à l'arrière (fig. 3, pl. 50). Indépendamment de l'inconvénient qu'il pouvait y avoir à faire attaquer les parties courbes de la voie par les roues motrices, de faire supporter à celles-ci la pression sur les rails à une grande distance du point d'emmanchement de l'essieu, et de soumettre celui-ci à des causes de rupture plus graves : la position des cylindres à l'avant de la machine était commandée par l'application de la vapeur d'échappement au tirage. La boîte à feu était en porte-à-faux en arrière de l'essieu moteur, ce qui donnait lieu à une mauvaise répartition du poids, rendait les machines instables et empêchait de donner au foyer le développement convenable. Plusieurs constructeurs anglais, et plus particulièrement Stephenson, préoccupés de cet inconvénient, furent bientôt conduits à appliquer une troisième paire de roues qui fut placée à l'arrière du foyer (fig. 4, pl. 50), ce qui permit d'augmenter le poids de la machine sans augmenter la fatigue de la voie, et, par suite, de développer la surface de chauffe et la puissance; néanmoins la question de la préférence à donner aux machines à quatre roues et à six roues fut longtemps débattue; on alléguait en faveur de celles-ci la sécurité pour le cas de rupture d'essieu, et, en définitive, malgré la persistance avec laquelle Bury défendit l'autre système, l'accident du 8 mai 1842, sur le chemin de fer de Paris à Versailles (rive gauche) vint trancher la question en faveur des six roues, et ce système fut même rendu momentanément obligatoire, par les règlements de police, dans plusieurs pays et notamment en France. Quoi qu'il en soit, l'adoption des machines à six roues coïncidant avec la nécessité d'augmenter les dimensions principales, elles ont fini par rester sans contestation le seul système employé. On arrive même maintenant à faire des machines à huit roues.

La nécessité d'augmenter de plus en plus la puissance des machines, pour satisfaire aux exigences d'un service croissant, con-

tinuant à se faire sentir, un nouveau mode de distribution des points d'appui fut adopté par Stephenson vers 1842. Tandis que certains constructeurs, entre autres Sharp de Manchester, s'appliquaient à augmenter la surface de chauffe, en augmentant le diamètre de la chaudière, la section du foyer et le nombre des tubes, en restant dans les limites ordinaires d'écartement pour les essieux extrêmes que commandait le matériel de plaques tournantes existant (fig. 1, pl. 51), Stephenson augmenta, dans une très-grande proportion, la longueur de sa chaudière et de ses tubes en reportant le foyer en porte-à-faux au delà de la roue d'arrière (fig. 2, pl. 51). Dans l'espace de dix années, ce célèbre constructeur avait porté de 2^m à 3^m 70 le corps cylindrique de sa chaudière, et, quelques années plus tard, il atteignit la limite de 4 mètres. Les machines établies dans ces nouvelles conditions suscitèrent de vives critiques; néanmoins l'autorité du nom de Stephenson les fit adopter sur un très-grand nombre de chemins; mais, au bout de quelques années, on ne tarda pas à reconnaître que les objections relatives au défaut de stabilité de ces machines, résultant de l'insuffisance de la charge des roues d'avant, ne manquaient pas de fondement; leur auteur lui-même essaya d'améliorer son système en changeant la position de l'essieu moteur (fig. 4, pl. 51). Mais aujourd'hui un système différent a prévalu. Il est bien entendu que nous ne parlons ici que des machines à roues indépendantes; les machines à roues accouplées sont placées dans des conditions spéciales que nous examinerons plus tard; dans le cas d'accouplement des six roues, c'est encore au système Stephenson qu'il convient de donner la préférence.

Stephenson avait été conduit en 1846, pour répondre aux objections faites contre la stabilité de ses machines, à mettre l'essieu moteur à l'arrière des deux autres (fig. 4, pl. 51), de manière à pouvoir reporter une partie suffisante de la charge sur l'essieu d'avant, et afin d'avoir un grand écartement entre les deux essieux les plus chargés; c'est peut-être une idée analogue qui, combinée avec des vues particulières sur l'influence de la position du centre de gravité, conduisit plus tard M. Crampton à proposer, pour la

circulation à grande vitesse sur les chemins de fer à voie étroite, une nouvelle disposition représentée (fig. 1, pl. 53), dans laquelle les roues motrices sont placées à l'arrière du foyer et au-dessus de la plate-forme du mécanicien, ce qui permet d'abaisser très-notamment la chaudière.

2° INFLUENCE DES COURBES. — Avant de discuter la question de la répartition des points d'appui, nous avons besoin de faire apprécier l'influence des courbes, plus ou moins prononcées, qui se rencontrent dans le tracé des chemins de fer, car elles seules obligent de fixer des limites au nombre et à l'écartement des points d'appui, maintenant surtout qu'on a été conduit, pour simplifier le service, à adopter des plaques tournantes d'un très-grand diamètre, et que leur dimension n'a plus besoin d'être prise en considération.

Si le tracé d'un chemin de fer était exactement rectiligne dans toutes ses parties, on concevrait que les machines et les véhicules de toute nature fussent montés sur des roues à jante *cylindrique*, et que les saillies dont il est nécessaire de les armer pour empêcher la déviation latérale, fussent encastrées exactement entre les deux rails, la voie formant, en quelque sorte, une rainure; mais il n'en est pas ainsi : des courbes d'un rayon plus ou moins faible, qui descendent sur les chemins de fer ordinaires jusqu'à 250 mètres dans les changements et dans les raccordements de voie, jusqu'à 150 mètres dans certaines voies de service, viennent créer des obstacles au passage des machines. D'un autre côté, les machines locomotives ne sont pas dirigées par la force motrice qui détermine leur mouvement comme l'est un véhicule remorqué par des chevaux sur une route de terre; elles ne sont pas dirigées par un appareil spécial comme les bateaux; elles pourraient dévier de la ligne qu'elles doivent suivre, par suite d'inégalités de frottement sur les fusées des essieux, si leurs roues étaient indépendantes et si leurs essieux étaient susceptibles de pivoter; elles ont pour cette cause leurs roues fixés sur les essieux, et les essieux eux-mêmes sont maintenus par la rigidité du châssis dans une position

parallèle. Il est donc nécessaire de recourir à un artifice particulier pour faciliter le passage des courbes; cet artifice consiste dans la combinaison du *jeu des saillies*, ou *boudins* des roues, et de la *conicité de la jante*.

Le jeu des boudins varie de 0^m 02 à 0^m 04 en totalité, c'est-à-dire que, la machine étant placée régulièrement sur la voie, il existe entre le boudin de chaque roue et le bord du rail correspondant un espace libre de 0^m 010 à 0^m 020, suivant que la liberté de déplacement de chaque point d'appui de la machine sur le rail doit être plus ou moins considérable. La conicité est à la fois le correctif et l'auxiliaire du jeu des boudins; elle est nécessaire pour empêcher la machine d'être indifférente et de se jeter tantôt à droite, tantôt à gauche dans les lignes droites, et, en même temps, elle compense jusqu'à un certain point, surtout si la machine n'a que quatre roues, les inégalités des parcours à effectuer sur chaque rail pour les roues liées au même essieu, de telle sorte qu'au lieu de glisser dans le sens de la longueur des rails, les roues n'ont plus à subir qu'un glissement peu considérable, résultant du parallélisme des essieux dans le sens transversal à la voie; la conicité sert en outre, dans une certaine mesure, à combattre l'influence de la force centrifuge qui tend à rejeter la machine vers la convexité de la courbe, et à pousser les boudins au contact des rebords des rails. Le jeu des boudins doit être tel que le rectangle formé par les points d'appui de la machine puisse s'inscrire dans l'intérieur de la rainure formée par l'arête intérieure des rails; mais comme il ne peut pas être augmenté au delà d'une certaine limite, qui résulte de l'épaisseur donnée aux boudins, des dimensions restreintes qu'il est possible de donner aux coupures de rails dans les traversées et changements de voie, aux rainures formées par les contre-rails des passages à niveau ou des changements de voie, et de divers autres motifs, on est forcé de restreindre les limites dans lesquelles il semble, au premier abord, que l'on pourrait faire varier l'écartement des essieux extrêmes. La conicité est ordinairement fixée à 1/20^e, et c'est seulement sur les chemins de fer tracés avec des

courbes de très-petits rayons, qu'il peut convenir de l'augmenter, comme on l'a fait en Amérique, où elle a été portée à $1/10^e$, et même à $1/7^e$; il faut remarquer, du reste, que dans les machines à six roues, ainsi qu'on peut s'en rendre compte par un simple croquis, la conicité, qui favorise le roulement des roues extrêmes, détermine, sur les roues du milieu, des frottements plus considérables que si leur jante était cylindrique. L'adoption de la conicité, ainsi que le mode d'usure des bandages qui se creusent en forme de gorge, ont conduit à donner aux rails une légère convexité qui remédie aux inégalités de fabrication et de pose de la voie; nous ne faisons également qu'indiquer ce détail sur lequel nous aurons plus tard l'occasion d'insister.

Ces préliminaires posés, il est facile de se rendre compte des motifs qui s'opposent à ce que l'on donne aux essieux extrêmes un écartement trop considérable; mais il serait plus difficile d'établir, par un calcul préalable, quelle limite doit être posée à cet écartement, en raison du jeu des boudins; en effet, si l'on suppose un véhicule à quatre roues placées sur une voie rectiligne, avec un jeu déterminé entre les boudins et les bords des rails, si l'on trace une série de voies courbes sous le véhicule sans le déplacer, on reconnaît qu'il arrivera un moment où le bord de ces rails viendra entrer en contact avec le boudin, à une certaine distance du point d'appui de la roue sur le rail; la courbure de la voie ne pourrait pas être portée au delà de cette limite sans flexion des roues ou des essieux. A cette limite, le mouvement est encore rigoureusement possible; mais, dans la pratique, on ne doit pas arriver jusque-là, il faut encore laisser aux roues une certaine facilité de déplacement pour que leur roulement puisse s'effectuer sur des circonférences de rayons proportionnels au développement des rails intérieur ou extérieur, ou approchant le plus possible de la proportionnalité.

Si la machine est à six roues, en répétant la même construction, on reconnaît que le boudin de la roue du milieu, du côté du centre de la courbe, vient très-prompement toucher le rail; si les roues, les essieux et le châssis étaient absolument rigides, le

mouvement de déplacement deviendrait impossible dès que cette limite serait atteinte, et elle l'est beaucoup plus tôt que pour le jeu des roues extrêmes.

Il convient de remarquer du reste que, dans la pratique, indépendamment de l'augmentation de largeur qu'on donne à la voie dans les courbes de petit rayon, indépendamment du jeu qu'il est souvent possible de donner aux fusées dans leurs coussinets, le châssis et les plaques de garde ont une certaine flexibilité, de telle sorte qu'en réalité, les machines passent dans des courbes dont l'accès semblerait devoir leur être interdit, mais c'est toujours au détriment de leur conservation.

3^o ÉCARTEMENT DES ESSIEUX. — Les dimensions adoptées pour l'écartement des essieux sont très-variables, ainsi qu'on a pu s'en convaincre par l'examen des planches 50 à 53 inclusivement. La machine à quatre roues que construisait Stephenson en 1832 (fig. 3, pl. 50), n'avait que 1^m 53 d'écartement d'axe en axe, tandis que celle de Crampton a 4^m 86; ces deux termes extrêmes sont exagérés, et l'on doit s'appliquer à s'en tenir à une certaine distance, à moins de motifs particuliers.

On peut augmenter l'écartement des essieux extrêmes lorsque l'essieu d'arrière ne supporte qu'une petite partie du poids de la machine et ne joue qu'un rôle accessoire, comme dans l'exemple de la fig. 1, pl. 51, et des fig. 3 et 4, pl. 52. La boîte à graisse a un jeu assez considérable dans la plaque de garde, et l'essieu peut se déplacer et dévier de la direction normale à l'axe de la machine en raison de la courbure de la voie; cette machine jouit alors des propriétés de l'ancienne machine à quatre roues pour la facilité de son passage dans les courbes. Lorsqu'au contraire la machine affecte l'une des dispositions représentées fig. 4 et 5, pl. 50; 2 et 3, pl. 51; 1 et 2, pl. 52; 1 et 2, pl. 53, il devient impossible de donner un jeu appréciable aux fusées ou aux boîtes à graisse des roues d'avant et d'arrière; c'est à la roue du milieu qu'il faut tâcher d'appliquer les artifices qui peuvent faciliter le mouvement dans les courbes. Dans le cas où la roue du milieu est

seulement une roue portante, les roues motrices étant à l'arrière (*fig. 4, pl. 51, et fig. 1, pl. 53*), on peut donner à ses fusées un jeu assez considérable dans leurs coussinets ou micux encore aux boîtes à graisse entre les plaques de garde, et la machine rentre dans les conditions de la machine à quatre roues; lorsque la roue du milieu est la roue motrice, ou lorsqu'elle est accouplée avec la roue motrice, il n'est plus possible de recourir à ce moyen: on réduit d'un centimètre environ l'épaisseur des boudins ou même on les supprime complètement comme l'a fait Stephenson dans un grand nombre de ses machines. Mais quelques personnes ont craint qu'il n'y eût danger à supprimer complètement le boudin des roues du milieu, et l'ont conservé comme un moyen de sécurité en cas de rupture du bandage ou du boudin des roues d'avant, ou même de déraillement; on doit se laisser guider d'autant plus par cette crainte que les machines, par leur disposition même, ont plus de tendance au déraillement. On doit en général conserver le boudin des roues du milieu, en se contentant seulement de l'amincir pour augmenter le jeu de la voie pour cet essieu en particulier; si l'on supprimait ce rebord, il conviendrait alors, comme nous l'avons fait observer, de rendre la jante cylindrique.

On pourrait supposer qu'il est possible de donner du jeu à la roue d'arrière dans la disposition de la *fig. 2, pl. 51*, mais on ne peut pas le faire, car cette roue est, de toutes, la plus chargée, et sa fixité intéresse essentiellement la stabilité de la machine. La roue d'avant ne doit elle-même avoir qu'un jeu très-restreint, si ce n'est complètement nul, car la machine manquerait également de stabilité si elle ne pouvait jouer d'une quantité appréciable dans ses coussinets d'avant.

Il est difficile d'établir une règle pratique pour fixer la limite qu'il convient de donner à l'écartement des essieux; sur certains chemins de fer, malgré le petit rayon des courbes, il peut être nécessaire d'accoupler toutes les roues pour franchir des rampes d'une forte inclinaison; on sacrifie dans ce cas la conservation des roues et de toutes les pièces qui souffrent au passage des courbes; c'est ainsi que l'on fait travailler des machines à roues accouplées

dont les essieux sont espacés de 3^m à 3^m 50, dans des courbes de 350 à 400^m de rayon, qu'on fait passer journellement ces machines dans des changements de voie, sans difficulté apparente, mais non sans qu'il en résulte un surcroît de fatigue et d'usure. C'est ainsi que sur quelques chemins de fer, en vue d'organiser des services à très-grande vitesse, M. Crampton est arrivé à porter à près de 5 mètres l'écartement des essieux d'avant et d'arrière, en donnant au châssis une extrême rigidité; ces dernières machines se fatiguent au passage des courbes et dans les gares; il y avait même lieu de craindre qu'elles fatiguassent la voie dans une certaine mesure; cette crainte ne s'est pas réalisée jusqu'à ce jour, mais les sacrifices qu'entraîne, au point de vue de la construction et de l'entretien du matériel et de la voie, le service des trains à grande vitesse, doivent être mis en regard des avantages qu'en retire le trafic de la ligne.

Lorsqu'on n'est pas dominé par des considérations spéciales, il convient de se maintenir dans des limites restreintes pour l'écartement à donner aux essieux extrêmes, ou plus exactement aux essieux assujettis entre eux à parallélisme rigoureux. Ces limites sont seulement susceptibles d'appréciation et non de mesure. Nous pensons que sur les chemins ordinaires, tracés avec des courbes du rayon minimum de 1,000 mètres, ne descendant que dans des cas exceptionnels à des rayons de 800 mètres et même de 500 mètres aux abords des gares principales, on peut admettre des écartements de 4 mètres pour les machines dont les roues motrices seraient placées à l'arrière du foyer, des écartements de 3^m 50 pour les machines à roues accouplées ayant leurs trois essieux intercalés entre la boîte à feu et la boîte à fumée et assujettis au parallélisme. Si les dispositions de la machine sont telles que la roue d'arrière puisse être modérément chargée et placée à l'arrière du foyer avec une certaine facilité de déplacement, et telle que l'écartement entre les roues d'avant et les roues motrices soit réduit à 2^m 50, on peut se donner une assez grande latitude pour l'écartement des essieux extrêmes et le porter à 4^m 50; il résulte du reste de cette disposition, si l'écartement

n'est pas considérable, une amélioration marquée des conditions de conservation de la machine et la voie et surtout de ses accessoires, ainsi qu'une diminution notable des résistances passives au mouvement.

CHAPITRE II.

Stabilité.

Les Anglais caractérisent par l'adjectif *steady* (ferme, assuré, qui ne vacille pas, qui ne roule pas), la propriété qu'ont, dans certains cas, les machines locomotives de marcher sans oscillation ou sans mouvements accessoires apparents, autres que la translation en avant. L'usage a consacré en France, pour exprimer cette propriété, les mots *stable* et *stabilité* qui, sans avoir absolument la même signification que les mots anglais *steady*, *steadiness*, impliquent la notion de permanence, d'invariabilité; nous respecterons cet usage, d'autant plus qu'il serait fort difficile de trouver des expressions plus propres à peindre le fait auquel on les applique.

La stabilité des machines n'est jamais absolue : elle n'est complète, en apparence, que dans des cas exceptionnels et par intervalles; on observe presque constamment des mouvements d'oscillation des axes principaux de la machine par rapport à l'axe de son mouvement; mais, dans la pratique, on ne tient pas compte de ces mouvements lorsqu'ils n'ont qu'une amplitude très-restreinte et cessent d'être facilement appréciables, et on déclare une machine *stable* lorsqu'elle n'a qu'une très-faible *instabilité*. On est

convenu, dans le but de simplifier l'examen et la discussion des faits, d'adopter quelques expressions empruntées au langage ordinaire pour caractériser ces différents mouvements oscillatoires : on appelle *mouvement de lacet*, le mouvement d'oscillation autour d'un axe vertical, passant par le centre de gravité de la machine ou autour d'un axe quelconque qui lui serait parallèle, et qui, en se combinant avec le mouvement de translation de la machine, lui fait prendre un mouvement serpentant; *mouvement de galop*, le mouvement d'oscillation autour d'un axe horizontal, transversal à l'axe de la voie sur laquelle circule la machine, ou perpendiculaire au plan de symétrie de la machine; *mouvement de roulis*, un mouvement d'oscillation autour d'un axe parallèle à l'axe longitudinal de la machine ou à l'axe de la voie; enfin *mouvement de tangage*, un mouvement d'oscillation longitudinale d'avant à l'arrière. Ces différents mouvements se combinent entre eux et avec le *mouvement de translation* de la machine; mais tout mouvement d'un quelconque des points de la masse peut toujours être ramené à ces mouvements élémentaires.

Le mouvement de translation et le mouvement de tangage sont linéaires; les mouvements de lacet, de galop et de roulis sont angulaires ou de rotation. A part l'expression de *tangage*, empruntée au Vocabulaire de la marine (balancement d'un vaisseau de l'avant à l'arrière et réciproquement), les expressions de *lacet*, *galop* et *roulis*, sont des images fidèles de ce qui se passe en réalité dans le mouvement d'une machine instable à ces différents points de vue; on a proposé de substituer l'expression de *recul* à celle de *tangage*; mais elle est encore plus fautive que celle-ci, car la notion de *recul* n'implique pas l'idée d'*oscillation* qui est une des propriétés essentielles de la perturbation qu'il faut dénommer; nous nous en tiendrons donc, jusqu'à nouvel ordre, au nom de *tangage*, nos lecteurs étant bien avertis du sens que nous lui attachons.

Trois causes distinctes peuvent déterminer des mouvements anormaux, des déviations momentanées et alternatives des différents points de la masse dans le mouvement de translation d'une

machine, ou, en d'autres termes, la rendre instable aux différents points de vue que nous avons envisagés. Plusieurs causes spéciales peuvent modifier les conditions de stabilité d'une machine donnée, en atténuer ou même en faire disparaître les effets. Les trois causes perturbatrices sont : 1° le mode de construction et l'état d'entretien de la voie ; 2° le mode de construction et l'état d'entretien des machines ; 3° l'inertie des pièces du mécanisme soumises à un mouvement de rotation ou d'oscillation dans la machine elle-même ou à un mouvement propre, indépendant du mouvement de translation, et accessoirement les pressions intérieures produites par l'action de la vapeur ; les actions perturbatrices peuvent être modifiées par l'écartement des essieux, par la répartition du poids qu'ils ont à supporter, par le mode de construction des ressorts et par l'application de contre-poids, disposés de telle sorte que leur inertie produise des actions contraires à celles des pièces du mécanisme.

C'est l'examen de ces différentes questions qui formera l'objet du présent chapitre ; toutefois la question des actions perturbatrices intérieures ayant été traitée d'une manière très-détaillée dans un Mémoire que l'un de nous a publié en 1849, sous le titre d'*Études sur la stabilité des machines locomotives en mouvement*, Mémoire qui reproduit tout ce qui avait été fait jusque-là, en complétant, au point de vue théorique et pratique, l'étude de cette question, nous nous contenterons de présenter un résumé de ce travail auquel rien d'essentiel, au point de vue de la pratique, n'a été ajouté à notre connaissance.

§ 1^{er}. — Mode de construction et entretien de la voie.

1° FORME DES RAILS. — Si l'on suppose une machine locomotive, ou tout autre véhicule porté sur quatre roues, montées deux à deux sur un même essieu, dans lequel les deux essieux seraient entre eux un certain angle en venant converger vers un point commun, et dans lequel les roues auraient des rayons proportionnels à leur distance au point de convergence des essieux, on

comprend que ce véhicule, mis en mouvement, tournera librement, suivant la circonférence d'un cercle dont le centre serait au point de concours des essieux. Si l'on suppose que, les roues conservant respectivement leurs diamètres inégaux, les essieux soient ramenés au parallélisme, le véhicule soumis à l'action de son moteur se trouvera sous l'influence de deux tendances : le parallélisme des essieux tendra à le faire marcher en ligne droite, tandis que la différence de diamètre des roues tendra à lui faire décrire le même cercle que dans l'hypothèse précédente ; en réalité, comme le confirme du reste l'expérience, le véhicule suivra une direction curviligne et circulaire, intermédiaire entre la ligne droite déterminée par la position de son axe au départ et la circonférence de cercle qu'il aurait décrite dans le premier cas. C'est sur ce fait qu'est basé le principe de la conicité des roues que nous avons indiqué, ainsi que le système proposé en Angleterre, dès l'année 1827, par William-Henry James, de disposer les jantes des roues des wagons en étages successifs, de manière à les faire circuler dans des courbes de petit rayon ; qu'est également basé le système de M. Laignel qui a proposé, en 1829, sous une forme applicable et adoptée avec succès sur les chemins de service, de produire la variation de circonférence en faisant porter les roues extérieures à la courbe sur leur boudin.

Ces préliminaires étant posés, il est facile de se rendre compte de l'influence de la forme des rails sur la stabilité des machines. Lorsque les rails ont la surface de roulement plate, comme on les a fabriqués à l'origine, la machine ayant ses bandages coniques à 1/20^e et les rails étant posés avec la même inclinaison, il est impossible que le contact de la roue avec le champignon du rail ait lieu constamment d'une manière régulière ; le rail peut n'être pas exactement symétrique de fabrication et l'inclinaison de sa surface supérieure peut être variable suivant que l'une ou l'autre des deux arêtes est tournée à l'intérieur de la voie, le *sabotage* des traverses ou la plate-forme des coussinets peut ne pas donner à tous les rails, et même à tous les points du même rail, la même inclinaison, et une inclinaison égale à la conicité des roues. Il

peut y avoir, et il y a en réalité, diverses causes qui affectent la régularité de la pose des rails, et la conséquence de ce fait est que les roues ne portent que rarement à plat sur la surface des rails, ainsi qu'on s'en rend compte en examinant le poli qu'ils prennent aux points de contact après un certain temps de service.

Les essieux étant supposés montés bien parallèlement, les roues d'un diamètre égal, sans usure à la jante, il arrivera fréquemment, par le fait même de la conicité, que le contact aura lieu sur des circonférences de rayon différent : plus grande s'il a lieu sur l'arête intérieure, plus petite s'il a lieu sur l'arête extérieure, et la machine se trouvera évidemment placée dans la condition que nous avons indiquée en second lieu dans nos observations préliminaires. Au moment où une inégalité de cette nature se produira, la machine déviara du côté où le contact aura lieu sur la circonférence la plus petite, et elle sera sollicitée par la même cause jusqu'au moment où, par suite du déplacement de la machine, l'égalité des circonférences de roulement sera rétablie; mais la machine arrivant à ce point avec une certaine vitesse de déviation acquise et se trouvant en outre, par le fait du mouvement de translation, sollicitée à continuer sa course suivant la direction oblique à l'axe de la voie suivant laquelle elle se trouve lancée, ce point sera dépassé; en supposant même qu'aucune nouvelle irrégularité de la pose de la voie ne vienne s'ajouter à la première, une nouvelle différence de rayon de roulement s'établira en sens contraire de la précédente, elle aura pour effet d'arrêter la machine dans sa déviation première et de lui imprimer une nouvelle oscillation en sens contraire; et si cette perturbation n'a été causée que par une seule irrégularité de pose de la voie, la machine, après un certain nombre d'oscillations, dont les frottements de toute nature réduiront successivement l'amplitude, reprendra sa stabilité. L'effet que nous venons d'analyser n'aura qu'une conséquence momentanée; mais, en réalité, il est impossible que la voie soit régulièrement posée, et à chaque rail, en quelque sorte, l'arête de contact change de position; le mouvement serpentant ou de lacet peut se perpétuer sous l'action indéfiniment répétée de ces

irrégularités d'ajustement des rails, en même temps que toutes les autres causes de perturbation viennent se superposer et s'ajouter à celle que nous signalons.

L'expérience a du reste démontré que, toutes choses égales d'ailleurs, la prédisposition au mouvement de lacet était beaucoup plus sensible sur une voie de cette nature que sur toute autre. On a remédié à cet inconvénient en donnant un léger bombement au rail, en décrivant le profil de la surface de contact, avec un rayon qu'on a successivement diminué, et qui descend jusqu'à 0^m 10 à 0^m 12. Dans les limites d'irrégularité que comporte la pose des rails le contact de la jante conique a toujours lieu très-près du sommet de cette courbe, et la tendance au mouvement de lacet que nous avons signalée disparaît. On observe en effet que des véhicules montés avec précision sur des roues neuves et bien calibrées à la jante, ont beaucoup de stabilité tant qu'ils restent placés dans les mêmes conditions.

Nous ferons remarquer du reste, en passant, que le bombement du rail est commandé, dans tout état de choses, par le changement de figure qui s'opère rapidement dans la forme de la jante des roues, par suite des frottements et de l'usure, les bandages se creusant en gorge.

2^e JEU DE LA VOIE. — Nous avons eu l'occasion d'indiquer la nécessité où l'on se trouvait de laisser un certain intervalle entre les boudins des roues et les bords intérieurs de la voie; ce jeu est nécessaire pour faciliter le passage dans les courbes. On pourrait, à la rigueur, en se plaçant à ce point de vue exclusif, le supprimer presque en totalité dans les parties rectilignes; mais il en résulterait que la machine n'aurait pas toute la liberté de déplacement nécessaire pour obéir librement aux actions de toute nature qui tendent à produire le mouvement serpentant; et, en particulier, à celle que nous venons d'indiquer; il y aurait une série de chocs des boudins contre les rails, et ces chocs, s'ils n'avaient pas pour effet d'augmenter la tendance au mouvement de lacet et de la rendre plus persistante, auraient au moins pour résultat de la

rendre plus manifeste et plus nuisible à la conservation du véhicule, qui en ressentirait le contre-coup dans toutes ses parties. C'est ce que l'on remarquait, du reste, d'une manière bien prononcée sur les anciennes voies, où le jeu total des boudins était restreint à 0^m 010 ou 0^m 015 : l'usure des boudins des roues y était plus prononcée et le mouvement de lacet y était beaucoup plus sensible à amplitude égale ; la sécurité y était aussi moins grande ; celle-ci ne serait jamais compromise si, dans aucun cas, le boudin des roues n'arrivait au contact du rail.

La régularité de la pose des rails et l'adoption de la forme bombée ne sont pas les seuls moyens d'atténuation de l'action perturbatrice que nous venons de signaler ; l'écartement des essieux extrêmes tend à en diminuer l'influence. Si l'on se reporte en effet à l'hypothèse que nous avons établie d'une machine à essieux parallèles et à roues inégales roulant sur une surface plane, il est évident que la déviation de la ligne droite sera d'autant moindre que l'écartement des essieux sera plus considérable, car l'effet du parallélisme deviendra plus sensible ; quant à l'influence de la charge, portée par les essieux extrêmes, elle paraît assez douteuse, car on a en présence deux frottements dont les effets se contraient : un frottement de glissement résultant de l'inégalité de développement des roues, un frottement de pivotement dû au parallélisme des essieux qui maintient la machine dans une direction intermédiaire, et ces deux frottements croissent proportionnellement aux pressions exercées au point de contact.

Les explications qui précèdent sont loin d'avoir la rigueur d'une démonstration géométrique ; pour analyser avec une exactitude mathématique les actions que nous venons de signaler et la plupart de celles que nous aurons encore à faire connaître, il faudrait entrer dans des développements très-détaillés pour lesquels l'espace nous manquerait ; il faudrait de plus pouvoir isoler chacune des causes de perturbation et ses effets, afin de vérifier son influence exacte par voie d'expérience, comme on l'a fait pour quelques-unes d'entre elles. Nous pensons, toutefois, que ces explications suffiront pour faire apprécier le rôle des actions perturbatrices

qui prennent leur origine dans le mode d'établissement de la voie, elles s'appliqueront du reste également aux causes qui sont inhérentes au matériel.

3^o ÉTAT D'ENTRETIEN DE LA VOIE. — Si l'on suppose une voie parfaitement appropriée, par la forme des rails et par la régularité de leur pose dans les coussinets et sur les traverses, à la stabilité des machines en mouvement, il pourra se faire, et il arrivera généralement, d'une manière plus ou moins marquée, que les traverses ne soient pas bien assises sur le ballast et qu'elles aient été écartées de leur position primitive. Si la voie, bien dressée en profil longitudinal, est mal dressée en plan et que les rails forment une ligne ondulée latéralement, ce que nous avons déjà indiqué, comme conséquence de la forme plate des rails et de l'inégalité de pose des voies, se produira. Au moment où les roues d'avant de la machine atteindront un rail déformé, les roues cesseront de porter sur des circonférences de même rayon, et la machine déviara de sa direction normale pour commencer une série d'oscillations qui se perpétueront si des inégalités semblables se reproduisent d'une manière suivie ; elles pourront même prendre une amplitude dangereuse si, par une coïncidence fâcheuse, plusieurs inégalités consécutives sont distribuées de telle sorte que leurs effets s'ajoutent avec une certaine persistance. On observe en effet que, sur certaines parties de voie en mauvais état, dans certaines conditions de vitesse et d'instabilité propre de la machine, le mouvement de lacet devient tellement fort que le mécanicien s'empresse instinctivement de fermer son régulateur pour ralentir. Il y a tout lieu de croire que cet effet est dû surtout à l'accumulation des effets de plusieurs déflexions consécutives du rail. L'instabilité propre de certaines machines suffit, du reste, pour causer des déplacements des traverses et des ondulations de la voie qui, une fois produits, contribuent à rendre le mouvement de lacet plus intense et plus dangereux.

Lorsque la déformation de la voie a lieu dans le sens vertical et que les dépressions ne se correspondent pas d'un côté à l'autre

de la voie, celles-ci ne sont pas assez prononcées pour que la machine glisse en masse tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, ce qui donnerait encore lieu au mouvement serpentant ou de lacet; mais si ces dépressions se reproduisent fréquemment, elles tendent à faire pencher la machine tantôt à droite, tantôt à gauche, et cette tendance, favorisée par l'élasticité des ressorts, peut donner lieu à un mouvement de *roulis* sensible, d'autant plus sensible à l'œil que le corps de la machine est monté sur des supports plus élevés ou, en d'autres termes, que son centre de gravité est plus élevé; d'autant plus apparent que les points dont on observe le déplacement sont plus élevés au-dessus du sol; plus apparent, par exemple, pour la partie supérieure de la cheminée que pour sa base. Nous reviendrons du reste sur cette question en traitant de l'influence de la hauteur du centre de gravité sur la stabilité, influence qui consiste plutôt à rendre plus appréciable la mesure des effets produits qu'à produire ces effets ou à en augmenter l'intensité.

Si l'état de la voie, que nous supposons mal entretenue, est tel que de place en place des traverses fléchissent à la fois, à leurs deux extrémités, au passage de la machine, celle-ci s'abaissera et se relèvera successivement de l'avant, et si les transitions ont lieu à peu d'intervalle et d'une manière brusque, et qu'en même temps les ressorts aient une grande flexibilité, la machine éprouvera, d'une manière plus ou moins continue, suivant le degré de permanence de l'action perturbatrice, des oscillations autour d'un axe transversal à la machine et parallèle au plan de la voie; la machine aura dans ce cas un *mouvement de galop* plus ou moins prononcé.

L'écartement des essieux extrêmes et l'augmentation de la charge qu'ils ont à supporter sont des conditions propres à atténuer l'effet des inégalités de pose et des déflexions latérales; le poids total de la machine, qui fait volant, est également propre, s'il est très-considérable, à rendre moins sensibles ces inégalités; mais si la machine ne cède pas aux impulsions qui tendent à la faire dévier à chaque instant, c'est évidemment au détriment de ceux de ses organes qui ont à surmonter les efforts exercés et au

détriment de la voie qui peut être soumise à des pressions latérales considérables.

La rigidité des ressorts diminue l'amplitude du mouvement de galop et du mouvement de roulis pour la partie de la machine qu'ils supportent; il est évident, du reste, qu'à part certaines facilités de déraillement que peut produire le mouvement de galop, lorsque la charge des essieux d'avant est insuffisante, ce mouvement n'exerce aucune influence fâcheuse sur les organes de la machine, si ce n'est sur les ressorts que fatiguent des oscillations continues; quant au mouvement de roulis, comme il a plus d'amplitude pour la partie suspendue de la machine, pour la partie du mécanisme adhérente aux châssis, que pour les supports qui suivent, sans amplification possible, les dépressions de la voie, il peut en résulter des torsions, des frottements et de l'usure pour les pièces qui sont à la fois dépendantes des essieux et des châssis, comme les bielles et les barres d'excentrique.

Dans tous les cas, il est nécessaire d'entretenir avec soin la voie et de redresser les inégalités de pose toutes les fois qu'elles se manifestent; dans la plupart des cas on retrouvera, sur les frais d'entretien du matériel, les dépenses que l'on aura dû appliquer à la voie pour arriver à un bon entretien.

Nous avons pris, comme point de départ des développements qui précèdent, la *machine à quatre roues*; ils s'appliquent également aux *machines à six roues*, seulement il est plus difficile de suivre exactement pour ces machines le mode d'action des causes signalées; leur jeu est plus compliqué et leur influence est peut-être atténuée dans ses effets par l'augmentation du nombre des points d'appui, mais cette influence n'en est pas moins constante.

§ 2. — Mode de construction et entretien des machines.

1° DÉFAUT DE PARALLÉLISME DES ESSIEUX. — Ce que nous avons dit d'une machine mise en mouvement sur une surface plane, dont les essieux sont parallèles et dont les roues sont de diamètre

inégal, s'applique inversement à une machine dont les roues seraient de même diamètre et dont les essieux ne seraient pas parallèles; soumise à deux influences contraires, l'une qui tend à la faire cheminer en ligne droite, l'autre à lui faire décrire un cercle dont le centre serait au point de convergence des essieux, elle suivrait une ligne intermédiaire. Si l'on suppose cette machine placée sur les rails, elle tendra sans cesse à dévier de la direction de l'axe de la voie, et cette tendance, venant s'ajouter à toutes les causes qui déterminent le déplacement latéral, pourra devenir, sinon une cause déterminante du mouvement de lacet, du moins une cause d'augmentation de son intensité et de sa permanence; dans tous les cas elle sera une cause directe et très-sérieuse d'usure des rebords des bandages.

2° INÉGALITÉ DU DIAMÈTRE DES ROUES. — Ce que nous avons dit plus haut de l'influence du rail plat inégalement posé et de l'influence des déflexions latérales de la voie, s'applique au cas où les deux roues d'un même essieu n'auraient pas le même diamètre; il y aurait encore là une cause permanente de déviation et d'augmentation d'instabilité. Dans le cas seulement où tous les essieux d'un même côté présenteraient la même différence de diamètre, l'influence que nous venons de signaler n'existerait plus, la machine se déplacerait tout entière sur le côté jusqu'à ce que la différence fût compensée par la conicité; mais il n'y aurait aucune tendance à la déviation latérale.

3° USURE DES BANDAGES. — Après un certain temps de service, les bandages de roues se creusent et forment une gorge qui s'aprofondit, de telle sorte qu'après un parcours qui peut varier de 15,000 à 35,000 kilomètres, suivant la qualité du fer, la profondeur totale approche de 0^m 005 à 0^m 006. Si les rails sont plats, l'existence de cette gorge augmente l'effet de la première cause de perturbation que nous avons signalée, elle peut la produire lorsqu'elle même que les rails ont tout le bombement nécessaire, pour peu qu'il y ait quelques défauts de symétrie dans la forme des rails et

d'irrégularité dans leur pose; dans tous les cas, des bandages creux sont dans des conditions plus défavorables que les bandages neufs lorsque la voie n'est pas parfaitement réglée en plan, car de petites déviations du rail produisent des variations plus marquées dans le rayon des circonférences de roulement. L'expérience prouve en effet que le mouvement de lacet augmente avec l'usure des bandages, et qu'il diminue lorsqu'on leur rend leur profil normal en mettant les roues sur le tour. Il est donc nécessaire, abstraction faite de toute autre considération, de ne pas laisser faire de progrès trop considérables à l'usure des bandages et de mettre fréquemment les roues sur le tour, pour éviter le mouvement de lacet qui est toujours une cause générale de dégradation de la machine; la fabrication des bandages en acier fondu sans soudure, et des bandages en acier corroyé et soudés, qui se propage de plus en plus, est, à ce point de vue, une amélioration fort importante que nous avons signalée spécialement dans notre première édition.

4° JEU DES BOITES A GRAISSE. — Le jeu que les fusées des essieux prennent dans leurs coussinets, dans le sens longitudinal, n'est pas précisément une cause de mouvement de lacet, lorsqu'on envisage seulement la question au point de vue de la voie et du véhicule; on conçoit en effet qu'une machine, si l'on fait abstraction des actions intérieures développées par le mouvement du mécanisme et si l'on suppose la voie parfaitement régulière et dressée, les roues bien montées et ayant exactement leur profil normal, puisse marcher sans vaciller, quoique les coussinets et les boîtes à graisse soient libres dans le sens de la longueur des fusées. Mais pour peu que les roues prennent un mouvement serpentant sur la voie, la machine jouera sur ses supports et sera jetée tantôt à droite, tantôt à gauche; si, en même temps, les plaques de garde ont de la flexibilité, s'il y a du jeu dans les supports de la chaudière, on verra toute la machine prendre un mouvement d'oscillation latérale dont l'amplitude pourra être beaucoup plus considérable que le déplacement alternatif des points de contact des roues sur les

rails. C'est ce que l'on observe dans toutes les machines dont le temps de service est trop prolongé; elles ont un mouvement de balancement qui disparaît par l'effet d'une simple réparation. Ce mouvement est nuisible parce qu'il accélère la dislocation générale du système, mais s'il n'existe pas de mobilité dans les supports, il peut ne compromettre que très-peu la sécurité.

Si les boîtes à graisse ont en même temps du jeu entre les guides des plaques de garde, l'usure des bandages elle-même coïncidant avec le jeu de la machine sur ses supports, on la voit, lorsqu'elle est lancée à grande vitesse, prendre un mouvement de lacet inquiétant.

Comme on le voit par les développements qui précèdent, toutes les causes d'instabilité que nous venons d'énumérer concourent à produire des effets semblables et qui se superposent, de manière à produire en fin de compte une très-grande instabilité, abstraction faite des causes intérieures dont l'action est encore plus marquée.

Ce que nous avons dit s'applique aux véhicules de toute nature, et ce qui en prouve l'exactitude, c'est que les tenders et les wagons eux-mêmes sont affectés comme les machines du mouvement de lacet, qui prenait souvent, sur les chemins construits il y a quinze à vingt ans, des proportions effrayantes. Ce qui démontre également l'influence que nous avons attribuée à chacun des éléments de perturbation que nous avons passés en revue, c'est que l'on arrive à une stabilité de plus en plus grande lorsqu'on fait disparaître le jeu des boîtes à graisse dans les plaques de garde, le jeu des coussinets sur les fusées, lorsqu'on rend aux bandages leur profil normal, lorsqu'on rectifie le parallélisme des essieux, lorsqu'on améliore l'entretien de la voie, lorsqu'on modifie la forme des rails de manière à leur donner un bombement convenable. Le jeu des boudins, lorsqu'il est réduit à des limites trop étroites, rend plus sensible le mouvement de lacet en marquant par un choc la fin de chaque oscillation; l'élargissement de la voie a surtout pour effet de donner aux roues toute la latitude nécessaire pour que les boudins ne viennent pas frapper le bord des

rails; le mouvement de lacet peut être tout aussi considérable, mais il ne se manifeste pas par des effets aussi sensibles.

L'écartement des essieux atténue le mouvement de lacet engendré par des causes inhérentes à la machine, comme celui qui est déterminé par le mode de construction et l'état de la voie; la répartition du poids sur les essieux exerce de même une influence marquée, car elle rend plus ou moins efficace l'écartement des essieux, suivant que les essieux extrêmes sont plus ou moins chargés. C'est du reste une question sur laquelle nous aurons l'occasion de revenir.

5^o HAUTEUR DU CENTRE DE GRAVITÉ. — Beaucoup de personnes attachent une très-grande importance à la hauteur du centre de gravité des machines, au-dessus des rails, et considèrent cette hauteur comme une cause d'instabilité d'autant plus grave qu'elle est plus considérable. Cette opinion ne peut être absolue; les résultats de l'expérience démontrent que les machines les plus hautes que l'on ait construites présentent beaucoup de stabilité, par cela même que les dispositions de mécanisme qui ont fait élever les chaudières sont favorables à la stabilité. Nous essayerons d'établir le rôle que joue la position du centre de gravité dans le mouvement d'une machine, tel que nous l'avons analysé.

Tout le monde sait ce qu'on entend en statique par l'équilibre stable ou instable: un corps reposant par une partie de sa surface sur un plan horizontal ou incliné est en équilibre stable toutes les fois que son centre de gravité tombe dans le périmètre de sa surface de contact; il est instable s'il tombe sur ce périmètre même, de telle sorte que le plus léger déplacement du centre de gravité vers l'extérieur détruit l'équilibre et fasse chavirer le corps. On a pu dire qu'une diligence était plus ou moins instable suivant qu'elle versait avec plus ou moins de facilité, lorsque les deux roues d'un même côté s'enfonçaient dans une ornière profonde, à côté d'une chaussée pavée et bombée; on a pu attribuer avec raison cette instabilité au mode irrationnel de chargement des colis sur l'imériale; on peut de même supposer avec raison qu'une machine

qui déraile et descend le long du talus d'un remblai, se renverserait plus facilement dans le fossé qu'une autre machine dont le centre de gravité serait plus bas, et il peut y avoir, par ce même motif, un certain intérêt à abaisser autant que possible le centre de gravité des machines; mais ce n'est pas là ce qu'on entend, dans l'art de la locomotion, par le mot de stabilité. Cette question, dont l'intérêt est du reste très-restreint et même contestable, ne rentre pas dans celle que nous traitons dans le présent chapitre. C'est donc ailleurs qu'il faut aller chercher l'influence de la hauteur du centre de gravité sur la stabilité des machines locomotives.

La position du centre de gravité joue un rôle important dans la question des courbes et encore n'est-ce pas au point de vue de la stabilité proprement dite. Lorsqu'une machine parcourt une courbe, sa masse est sollicitée par la force centrifuge comme elle l'est d'une manière permanente par la pesanteur; le point d'application commun de la résultante de ces deux forces est le centre de gravité. La force centrifuge agit dans le plan horizontal en sens contraire du rayon de la courbe; elle tend à faire porter les bouddins des roues sur le rail extérieur, ou, si le jeu est assez considérable, à faire dépasser à la machine la position où la conicité compense la différence de développement des rails et à déterminer des frottements de glissement; elle tend également à déplacer le point où la résultante des forces qui sollicitent les masses élémentaires dont la machine est formée, vient rencontrer le plan de la voie; si la machine chemine en ligne droite ces forces se réduisent à la pesanteur et la résultante est dirigée suivant la verticale du centre de gravité et vient rencontrer le plan de la voie à égale distance des rails; si elle chemine en ligne courbe, la force centrifuge intervient et la résultante vient rencontrer le plan de la voie un peu au delà de son axe, du côté de la convexité de la courbe. Cette double action de la force centrifuge a pour effet de produire des frottements, de la résistance au mouvement et de l'usure, et de changer les conditions d'équilibre de la machine sur la voie; mais à aucun point de vue elle ne peut déterminer des mouvements d'oscillation.

En désignant par V la vitesse de translation de la machine en mètres par seconde, par P son poids en kilogrammes, par R le rayon de la courbe qu'elle parcourt, par g la vitesse acquise par un corps tombant dans le vide au bout d'une seconde ($g = 9^m,80896$), on a pour l'expression de la force centrifuge $\frac{PV^2}{gR}$. Au moyen de cette formule on peut calculer, dans les différentes circonstances où peut se trouver une machine parcourant une courbe, l'intensité de la force centrifuge et la comparer avec la pesanteur, pour examiner comment se trouve modifié l'équilibre de la machine sur ses points d'appui. Si l'on suppose une courbe de 500^m de rayon, parcourue à la vitesse de 60 kilomètres à l'heure, par une machine dont le centre de gravité soit à $1^m 50$ de hauteur, ce qui peut être considéré comme un maximum dont les machines existantes ne présentent peut-être pas d'exemple, on trouve que la résultante viendra rencontrer le plan de la voie à $0^m,085$ au delà de l'axe de la voie où la verticale du centre de gravité rencontre ce même plan. Ce déplacement du point de rencontre de la résultante des forces qui sollicitent la machine est insignifiant par rapport à la largeur de la voie qui est de $1^m 50$; l'équilibre ne deviendrait instable (en terme de statique) que si ce déplacement était égal à la demi-largeur de la voie ou $0^m,75$. Pour arriver à ce terme extrême, il faudrait que la vitesse atteignît la limite de $49^m,5$ par $1''$ ou de 170 kilomètres à l'heure, ou bien que le centre de gravité fût relevé jusqu'à 13^m de hauteur, toutes choses égales d'ailleurs. Si l'on cherche inversement quel est le rayon de courbe auquel il faudrait descendre, pour que la machine, placée dans les conditions que nous avons indiquées, cessât d'être en équilibre stable, ou pour que la résultante des forces qui sollicitent la machine vint rencontrer le rail, on trouve $R = 56^m,60$. Telles sont les limites auxquelles l'action de la force centrifuge pourrait rendre instable l'équilibre de la machine sur ses points d'appui et au delà desquelles elle *verserait* comme pourrait le faire une diligence qui tournerait trop brusquement en grande vitesse; mais ces limites sont loin d'être atteintes dans la pratique.

L'inconvénient le plus grave de la force centrifuge est de déterminer des frottements qui peuvent devenir très-considérables, si les boudins des roues viennent s'appuyer sur le bord des rails, et qui s'ajoutent au frottement dû au parallélisme des essieux. Elle a encore pour effet de modifier la répartition de la charge sur les différents essieux et de reporter, sur le rail extérieur, une partie de la pression qui s'exercerait en ligne droite sur le rail intérieur; mais dans les circonstances habituelles il n'en résulte aucun inconvénient, car, dans l'exemple que nous avons choisi, le poids de la machine étant supposé égal à 22 tonnes, c'est un poids de 1250 kilog. qui se reporte d'un côté à l'autre de la machine.

On peut du reste remédier dans la pratique aux inconvénients qui viennent d'être signalés en relevant le rail extérieur jusqu'à ce que le plan formé par les points d'appui de la machine soit normal à la résultante de la pesanteur et de la force centrifuge; l'action de celle-ci se trouve complètement annulée. En désignant par α l'angle qui mesure l'inclinaison transversale qu'il faut donner à la voie et qui est égal à l'angle compris entre la verticale du centre de gravité et la résultante, en désignant par l la largeur de la voie, on a pour la valeur du relèvement

du rail extérieur $l \operatorname{tang} \alpha = \frac{IV^2}{gR}$. Cette formule permet de calculer pour chaque rayon de courbe, en raison du mode de construction des machines et de la vitesse habituelle des convois, la quantité dont il faut relever le rail extérieur. Dans l'exemple que nous avons choisi, la hauteur du centre de gravité étant précisément égale à la largeur de la voie, le relèvement du rail extérieur doit être égal à l'écart de la résultante des forces, soit à 0^m,085. Nous ferons remarquer en passant que généralement les ingénieurs qui sont chargés de l'entretien des chemins de fer ne donnent pas dans la pratique, au relèvement du rail extérieur, une hauteur suffisante; cette hauteur doit être calculée sur la vitesse moyenne de marche des trains de voyageurs; ceux-ci sont généralement plus nombreux que les trains à petite vitesse, et, dans

tous les cas, il y a beaucoup moins d'inconvénient à laisser frotter les boudins des roues sur le rail intérieur qui leur présente sa convexité, que sur le rail extérieur qui leur présente sa concavité.

La position du centre de gravité peut jouer, dans la question de la stabilité, un rôle que nous indiquerons pour ne rien laisser d'incertain dans l'esprit de nos lecteurs. Si l'on suppose une verge élastique fixée à la machine dans une position verticale, lorsque la machine prendra du mouvement de lacet, surtout s'il y a usure et jeu des boudins contre les rails ou des coussinets sur les fusées d'essieux, cette verge ne restera pas constamment parallèle à elle-même, elle *fouettera* à la fin de chaque oscillation en vertu de l'inertie de sa masse et de son élasticité. La même chose aura lieu pour la machine, et l'amplitude de ses oscillations sera d'autant plus grande que le centre de gravité sera plus élevé. Le moment des quantités de mouvement acquises par ces oscillations sera plus considérable aussi et agira d'une manière plus nuisible sur les assemblages de la machine.

Si les ressorts qui la supportent ont une grande flexibilité, à chaque oscillation la masse inerte de la chaudière, du châssis et de toutes les pièces qui s'y trouvent attachées, tendra à suivre l'impulsion qui lui a été imprimée et il y aura diminution d'un côté, augmentation de l'autre dans les flèches d'équilibre des ressorts de suspension, et, par suite, la machine pourra prendre un mouvement de roulis sensible, auquel ne participent pas ses supports; ce mouvement de roulis deviendra encore plus apparent, comme nous l'avons déjà fait entrevoir plus haut, si la machine entière, y compris ses supports, prend du roulis par suite de l'état de la voie. Ce mouvement de roulis peut être rapporté à un plan horizontal passant par les ressorts et considéré comme la manifestation des oscillations de ce plan autour de son axe de figure; si les ressorts sont placés de plus en plus bas, par rapport aux points de la chaudière dont on observe le mouvement, le déplacement linéaire de ces points sera de plus en plus apparent pour une même déviation angulaire du plan des ressorts; pour une même position des ressorts

ce déplacement linéaire sera d'autant plus grand que le point observé sera plus haut, il sera plus grand par exemple pour le sommet de la cheminée que pour la base. En relevant la position du centre de gravité, par suite des combinaisons mécaniques adoptées, il faut changer en même temps la hauteur des ressorts au lieu de les laisser aussi rapprochés que possible des boîtes à graisse; mais cela est, avant tout, une question de construction et de disposition de ressorts, à tel point que l'écartement plus ou moins grand des ressorts, suivant que le châssis est extérieur ou intérieur, influe lui-même d'une manière très-notable sur l'amplitude du mouvement de roulis que le corps de la machine est susceptible de prendre. Ce mouvement de roulis de la machine, par rapport à ses supports, a l'inconvénient déjà signalé de produire une torsion dans les pièces qui dépendent à la fois du châssis et de l'essieu moteur; il faut donc y remédier en donnant aux ressorts de suspension la rigidité convenable. On s'est aussi préoccupé de la hauteur du centre de gravité par rapport à la hauteur de l'attelage du tender avec la machine, et on s'est appliqué à placer le centre de gravité dans le plan du double attelage d'arrière et d'avant du tender. Tout est pour le mieux si ce rapport s'établit simplement et naturellement, sans nuire à la bonne disposition des organes de la machine; il y aurait un certain inconvénient à ce que le centre de gravité fût beaucoup au-dessous du plan de l'attelage, car on peut assimiler jusqu'à un certain point la résistance du train à un effort agissant à l'extrémité d'un levier vertical soudé sur un axe horizontal, passant par le centre de gravité et faisant corps avec la machine, et, dans l'hypothèse que nous avons faite, cet effort tendrait à faire basculer la machine de l'avant à l'arrière, à décharger les roues d'avant pour reporter une partie de la charge sur les roues d'arrière; l'effet inverse aurait lieu si le centre de gravité était *au-dessus* de l'attelage, et l'assiette de la machine sur la voie se trouverait augmentée; à ce point de vue spécial la hauteur du centre de gravité serait plutôt une bonne qu'une mauvaise chose, si des considérations de cette nature avaient quelque importance dans la pratique.

Peut-être une étude plus approfondie de la question fera-t-elle reconnaître des actions autres que celles que nous venons d'indiquer, influant d'une manière notable sur les conditions de stabilité; mais jusqu'à ce que cette étude ait été faite, il faut s'en tenir aux résultats de l'expérience qui semblent établir qu'il n'y a pas intérêt évident à sacrifier des dispositions de mécanisme ou d'autres conditions utiles pour abaisser plus ou moins le centre de gravité des machines, entre les limites de hauteur maxima que présentent les machines mises jusqu'à présent en service sur les chemins de fer.

53. — Actions perturbatrices développées par le mouvement des pièces du mécanisme.

Les pièces qui sont animées d'un mouvement propre dans le système de la machine, abstraction faite du mouvement de translation qui la déplace incessamment, sont les essieux et les roues, les bielles, les pistons et tous leurs accessoires, les pompes alimentaires et enfin les pièces de la distribution. Les essieux et les roues de support sont soumis, dans toutes leurs parties, à l'action de la force centrifuge; mais comme leur forme est symétrique par rapport à l'axe de l'essieu, toutes les actions se font équilibre, il en résulte seulement des tensions intérieures. Il n'en est pas de même pour l'essieu moteur et les essieux des roues accouplées avec l'essieu moteur, les manivelles n'ont pas leur contre-partie et l'action que la force centrifuge exerce sur leur masse ne peut être surmontée à chaque instant que par la pression des pièces qui emprisonnent les fusées, boîtes à graisse et châssis et des rails eux-mêmes. Ce défaut d'équilibre devient une cause de perturbation marquée lorsque l'accélération de la vitesse développe la force centrifuge qui croît proportionnellement à son carré. Le piston, dont la masse est inerte, reçoit un mouvement alternativement accéléré et retardé; ces variations alternatives de vitesse donnent lieu à des réactions auxquelles rien ne fait équilibre et qui exercent également une influence perturbatrice; il en est de même des

pièces qu'il entraîne dans sa marche. Enfin la pression de la vapeur sur les pistons donne lieu également à certaines réactions qui troublent l'équilibre de la machine. C'est l'étude de ces diverses actions que nous allons présenter d'une manière aussi succincte que possible, en prenant pour point de départ l'ancienne machine à voyageurs, à cylindres extérieurs, des chemins de fer d'Orléans, du Nord et de Strasbourg, du système de Stephenson.

1° ACTIONS PERTURBATRICES RÉSULTANT DE L'INERTIE DES PIÈCES DU MÉCANISME. — Le poids des pièces dont nous avons à prendre le mouvement en considération n'est qu'une très-faible fraction du poids de la machine, cependant cette fraction n'est pas entièrement négligeable; il en résulte que lorsque la machine est en mouvement et que ses organes se déplacent en obéissant aux liaisons qui existent entre eux, la position du centre de gravité du système se déplace par rapport à ses points fixes, par rapport au rectangle formé par le châssis, par exemple; mais comme le mouvement de ces pièces n'a lieu que dans le sens longitudinal, le centre de gravité reste toujours compris dans un même plan vertical passant par l'axe de figure de chacune des parties fixes de la machine. Pour simplifier l'analyse que nous avons à faire nous supposons que ce déplacement du centre de gravité, qui est du reste compris entre des limites très-restreintes, soit complètement nul, et nous supposons que la machine soit suspendue par ce point à un fil d'une grande longueur; elle sera en équilibre instable autour de ce point et pourra obéir à l'action de toutes les forces et de tous les couples qui seront appliqués à l'une quelconque de ses parties. Nous supposons enfin qu'on lui ait donné une position initiale telle que son châssis soit horizontal, comme il le serait si elle reposait librement sur les rails.

Nous désignerons par P la pression de la vapeur sur l'un des pistons, celui qui est à la droite du mécanicien placé sur la plateforme et regardant vers l'avant, par α l'inclinaison de la manivelle sur l'axe du cylindre (fig. 1, pl. 3), par β l'inclinaison de la bielle motrice sur la même ligne, par r le rayon de la manivelle, par L

la longueur de la bielle, par P' , α' , β' les mêmes quantités pour le piston de gauche, par q le poids de la manivelle rapporté au centre du bouton, par q' le poids du piston.

Si nous supposons les organes de la machine en mouvement de telle sorte que les roues motrices fassent par seconde un nombre de tours égal à n , et que la vitesse correspondante du centre du bouton de manivelle α , mesurée en mètres parcourus par seconde, soit égale à v , la valeur de la force centrifuge qui sollicite le poids

q sera égale à $\frac{qv^2}{gr}$ (1). Cette force, qui agit dans le sens du rayon $o \alpha$, peut se décomposer en deux autres, l'une verticale, égale à $\frac{qv^2}{gr} \sin \alpha$, et l'autre horizontale, égale à $\frac{qv^2}{gr} \cos \alpha$; on peut immédiatement négliger la composante verticale, qui serait équilibrée par une augmentation de la résistance du rail ou par une partie du poids de la machine, si celle-ci reposait sur la voie, et qui ne peut produire aucune perturbation dans le mouvement; on n'a donc à prendre en considération que la composante horizontale $\frac{qv^2}{gr} \cos \alpha$ qui est une des principales causes d'instabilité.

Si l'on considère que pour le piston qui prend un mouvement alternativement accéléré et retardé, la roue étant animée d'un mouvement de rotation uniforme, ainsi que cela a lieu en service, la masse de la machine et du convoi fait volant et compense les inégalités de transmission du travail moteur (page 59), on peut alors considérer l'accélération et la retardation du mouvement comme produites par la réaction de la manivelle sur la bielle; c'est ce qui aurait lieu en effet si le mouvement était imprimé à l'essieu moteur par une courroie enroulée sur une poulie fixée au milieu

(1) Nous supposons le poids de la manivelle rapporté au centre du bouton pour simplifier les calculs; cela ne change rien au résultat, car si l'on désigne par p le poids réel de la manivelle, par r' la distance de son centre de gravité à l'axe, par v' la vitesse de ce point, on aura pour la force centrifuge $\frac{pv'^2}{gr'}$ = $\frac{qv^2}{gr}$, car $v' = \frac{vr'}{r}$ et $p = q \frac{r'}{r}$.

de sa longueur. Cette variation de mouvement ne peut être produite que par l'application d'une force agissant suivant la bielle $a m$; la contre-partie de cette force est, au point a , une pression exercée sur la manivelle, qui agit sur la machine, comme la force elle-même agit sur le piston et qui, la machine étant librement suspendue comme nous l'avons supposé, la sollicite tantôt vers l'arrière pendant une demi-révolution de 90° à 270° , et tantôt vers l'avant pendant l'autre moitié de la révolution de 270° à 90° , les angles étant mesurés dans le sens α , α' à partir de l'axe du piston. Si l'on suppose, pour simplifier le calcul, que la longueur de la bielle est infinie ou, en d'autres termes, qu'elle reste constamment parallèle à l'axe du cylindre, on trouve que la valeur de

cette force est représentée par l'expression $\frac{q'v^2}{gr} \cos \alpha$ (1).

Cette force peut être remplacée : 1° par une force égale, parallèle et dirigée dans le même sens, appliquée au centre de l'es-

(1) Le calcul peut s'effectuer de la manière suivante dans le cas le plus compliqué, c'est-à-dire en prenant les choses telles qu'elles sont, la bielle ayant une longueur finie :

Soit π la valeur de cette force, q' le poids du piston et des pièces qui s'y rattachent, v la vitesse du piston à un instant quelconque t , s le chemin qu'il a parcouru à cet instant; à partir de l'origine de la course, on a :

$$s = r + L - (r \cos \alpha + L \cos \beta)$$

et $s = r(1 - \cos \alpha) + L - \sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \alpha}$;

d'où l'on tire $ds = \left[r \sin \alpha + \frac{r^2 \sin \alpha \cos \alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} \right] d\alpha$;

or, $\alpha = \frac{vt}{r}$, $d\alpha = \frac{v}{r} dt$ et $\pi = \frac{q' du}{g dt}$,

$$u = \frac{ds}{dt} = v \left[\sin \alpha + \frac{r \sin \alpha \cos \alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} \right],$$

$$du = v \left[\cos \alpha + r \frac{L^2 (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) + r^2 \sin^4 \alpha}{\sqrt{(L^2 - r^2 \sin^2 \alpha)^3}} \right] d\alpha,$$

$$\pi = \frac{q' v^2}{gr} \left[\cos \alpha + r \frac{L^2 (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) + r^2 \sin^4 \alpha}{\sqrt{(L^2 - r^2 \sin^2 \alpha)^3}} \right].$$

En supposant $L = \frac{1}{0}$, il resto $\pi = \frac{q' v^2}{gr} \cos \alpha$.

sieu, 2° par un couple ayant pour bras de levier ok et ayant seulement pour effet de modifier l'action qui détermine le mouvement de rotation, d'augmenter ou de diminuer la variation de cette action, mais qui n'a aucune influence sur les conditions de stabilité et dont nous ne nous occuperons pas autrement. La force qui sollicite directement l'essieu, ramenée à sa valeur la plus simple par l'hypothèse que nous avons faite sur la longueur de la bielle, offre cette circonstance remarquable qu'elle est représentée par la même expression que la composante horizontale de la force centrifuge et de plus qu'elle est toujours dirigée dans le même sens et se compose avec elle par voie d'addition. Il en résulte comme première conséquence qu'on n'est pas obligé d'analyser le mouvement de la bielle motrice, qui participe à la fois du mouvement de la manivelle et du mouvement de piston, ce qui ne pourrait se faire que par des méthodes de calcul d'un ordre plus élevé et que nous avons évité d'aborder dans le cours de notre travail.

Si l'on désigne par Q le poids total de la manivelle (celle-ci étant supportée au centre de son bouton), de la bielle motrice, des bielles d'accouplement, du piston, de la tige, de la coquille et même du plongeur de la pompe alimentaire lorsqu'il est commandé directement par le piston, on a pour la valeur totale de la force qui sollicite l'essieu, $\frac{Qv^2}{gr} \cos \alpha$.

Du côté gauche de la machine, en remarquant que $\cos \alpha = \sin \alpha$, on a pour la somme des forces qui sollicitent également l'essieu $-\frac{Qv^2}{gr} \sin \alpha$. C'est l'action de ces forces qui est la principale cause d'instabilité des machines (1). Il nous reste à examiner quelle est la nature des perturbations.

(1) L'erreur totale que l'on commet dans la mesure de ces forces est d'environ 1/10^e pour les machines à voyageurs, et de 1/20^e pour les machines à marchandises, pour certaines positions des manivelles; elle est nulle pour d'autres positions. Il est inutile d'en tenir compte pour l'application, et nous continuerons à raisonner sur l'hypothèse adoptée de la longueur infinie de la bielle motrice.

Dans la machine que nous avons prise avec intention comme exemple, on peut supposer, sans s'éloigner beaucoup de la vérité, que l'axe des cylindres est situé dans le plan moyen des roues ou, en d'autres termes, que les différentes forces qui sollicitent l'essieu agissent dans le même plan; nous montrerons plus tard comment on doit tenir compte de la différence des écartements de ces forces. $\frac{Qv^2}{gr} \cos \alpha$ représente donc une force unique appliquée

à l'extrémité de droite de l'essieu, $\frac{Qv^2}{gr} \sin \alpha$ une autre force unique appliquée à son extrémité de gauche. Sans rien changer aux conditions d'équilibre du système, on peut appliquer au centre de l'essieu deux forces égales et parallèles à $\frac{Qv^2}{gr} \cos \alpha$ et dirigées en sens contraire, de même pour $\frac{Qv^2}{gr} \sin \alpha$; cet ensemble de forces se réduit à deux forces longitudinales qui sollicitent le milieu de

l'essieu et dont la résultante est $\frac{Qv^2}{gr} (\sin \alpha + \cos \alpha)$ [1] et à deux couples qui tendent chacun à faire tourner la machine autour de l'axe vertical passant par le centre de gravité qui, par cela même qu'ils sont des couples, tendent seulement à produire un mouvement de rotation; les bras de levier de ces deux couples sont de signe contraire et égaux chacun à $\frac{1}{2} e$, e désignant l'écartement des plans moyens des roues ou des plans dans lesquels sont appliquées les orces perturbatrices, leurs moments seront égaux à $\frac{1}{2} \frac{Qv^2}{gr} e \cos \alpha$

et $-\frac{1}{2} \frac{Qv^2}{gr} e \sin \alpha$, et le moment résultant à

$$\frac{1}{2} \frac{Qv^2}{gr} e \left\{ \cos \alpha - \sin \alpha \right\}. [2]$$

Si l'on examine comment varient les valeurs de l'expression [1], au fur et à mesure que l'angle α varie, on trouve que lorsque $\alpha = 135^\circ$ et $\alpha = 315^\circ$, la résultante est nulle; qu'elle croît par de rés insensibles depuis $\alpha = 135^\circ$ jusqu'à $\alpha = 225^\circ$, pour dé-

croître ensuite jusqu'à 315° , en restant positive, c'est-à-dire dirigée de l'avant vers l'arrière; qu'elle prend ensuite une valeur négative croissante de 315° à 45° et décroissante de 45° à 135° , point de départ. La machine prendra donc sous l'action de cette force un mouvement d'oscillation qui serait analogue à celui d'un pendule, si le point de suspension n'était pas supposé à une hauteur infinie, qui, par ce motif, est un mouvement rectiligne de va et vient auquel on a donné le nom de mouvement de tangage. Nous verrons comment il se manifeste dans la réalité lorsque la machine est en mouvement sur les rails. On trouve par le calcul que l'amplitude de cette oscillation est indépendante de la vitesse, qu'elle dépend seulement du poids relatif des organes moteurs et de la machine; en supposant le poids de la machine que nous avons prise pour exemple égal à 21,000 kilogrammes, on trouve que l'amplitude totale de l'oscillation, de l'avant à l'arrière, est égale à très-peu de chose près à $0^m 01$ (1); ces résultats ont été du reste con-

(1) Soit T le poids de la machine, S l'amplitude totale d'une demi-oscillation, s la distance du centre de gravité de la machine au point mort de l'oscillation et u la vitesse à un instant quelconque t , on a, pour l'expression de la force accélératrice :

$$\frac{T}{g} \frac{d u}{d t} = \frac{Qv}{gr} (\sin \alpha + \cos \alpha);$$

on a en outre $t = \frac{\alpha}{2\pi n}$ et $v = 2\pi r n$;

par suite $u = 2\pi n \frac{Qr}{T} \int (\sin \alpha + \cos \alpha) d\alpha$,

et $u = 2\pi n \frac{Qr}{T} (\sin \alpha - \cos \alpha)$;

or, $u = \frac{ds}{dt}$ et $ds = u dt$.

On a donc $ds = \frac{Qr}{T} (\sin \alpha - \cos \alpha) d\alpha$,

$$s = \frac{Qr}{T} \int (\sin \alpha - \cos \alpha) d\alpha = -\frac{Qr}{T} (\sin \alpha + \cos \alpha) + c;$$

et $S = \frac{Qr}{T} \int_{\alpha=45^\circ}^{\alpha=135^\circ} (\sin \alpha - \cos \alpha) d\alpha = -\frac{Qr}{T} 2\sqrt{\frac{1}{2}} = -0^m 0046$.

firmés par des expériences directes dans lesquelles on a fait tourner à vide les roues d'une machine suspendue au moyen de cordages au-dessus du sol.

Si l'on examine de même comment varie la valeur de l'expression [2], lorsque l'angle α varie de 0° à 360° , on trouve que le moment du couple est nul pour les valeurs $\alpha = 45^\circ$ et $\alpha = 225^\circ$, qu'il croît positivement de $\alpha = 45^\circ$ jusqu'à $\alpha = 135^\circ$ pour décroître jusqu'à $\alpha = 225^\circ$ et qu'à partir de ce point il prend des valeurs négatives croissantes jusqu'à $\alpha = 315^\circ$ et décroissantes jusqu'à $\alpha = 45^\circ$. Ce couple tend donc à faire tourner la machine autour de la verticale passant par son centre de gravité, de gauche à droite pendant que la manivelle décrit la demi-circonférence comprise entre 45° et 225° , de droite à gauche entre 225° et 45° .

Cette action alternative a pour effet d'imprimer à la machine un mouvement de rotation alternatif dont l'amplitude est limitée et qui constitue le *mouvement de lacet*, lorsque la machine est en même temps animée d'un mouvement de translation. Cette amplitude est indépendante de la vitesse et, pour la machine que nous avons prise comme exemple, le calcul (1), confirmé par l'expérience directe, indique que l'amplitude du mouvement de déplacement d'un point pris sur la traverse d'avant est d'environ $0^m 01$.

Nous avons considéré ces deux mouvements isolément, mais en fait ils se combinent, et un point de la machine, par exemple l'un des angles de la traverse d'avant, décrit une courbe fermée qui s'inscrit dans un rectangle (très-peu différent d'un carré) dont un côté mesure l'amplitude totale de l'oscillation du tangage, l'autre

(1) Soit ω la vitesse angulaire du mouvement de rotation d'un corps assujéti à tourner autour d'un axe fixe, F la force qui le sollicite, f la distance de la direction de cette force à l'axe de rotation, m la masse d'un point quelconque du corps, L la distance de ce point à l'axe de rotation, s l'arc décrit au bout du temps t , dans le cercle dont le rayon est égal à l'unité, s l'amplitude totale d'une demi-oscillation, on a pour l'équation du mouvement

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{Ff}{\Sigma mL^2}$$

Si l'on suppose que la machine tout entière soit, quant à la valeur du mo-

l'amplitude totale de l'oscillation du lacet; cette courbe est comprise dans un plan horizontal, si la composante verticale de la force centrifuge est annulée, mais elle s'incline si la machine est librement suspendue dans l'espace; cette composante verticale produit alors, comme on l'a en effet observé, un *mouvement de roulis* dont l'amplitude pourrait être mesurée par des calculs semblables à ceux que nous avons reproduits en note.

Pour entrer plus avant dans l'examen des perturbations dont nous venons d'indiquer le principe, nous supposerons que la machine repose sur la voie, mais de telle sorte que les roues motrices soient placées sur des galets d'alimentation (page 152), et nous supposerons en même temps que les frottements des roues d'avant et d'arrière soient nuls, de manière qu'il n'existe aucun obstacle

ment d'inertie ΣmL^2 , l'équivalent d'un cylindre de même poids dont la longueur $x = 5^m$, et le diamètre $y = 1^m,60$, on aura :

$$\Sigma mL^2 = \frac{1}{2} \frac{T}{\pi g} (x^2 + y^2) = 2,92 \frac{T}{g}$$

(T étant le poids de la machine égal à 21,000 kilogrammes.)

On a d'un autre côté :

$$f = \frac{1}{2} e, \quad F = \frac{Qe^2}{gr} (\cos \alpha - \sin \alpha) - \frac{Q}{g} 4\pi^2 n^2 r (\cos \alpha - \sin \alpha)$$

$$\text{On a donc : } \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Qe}{2,92 T} \cdot 4\pi^2 n^2 r (\cos \alpha - \sin \alpha),$$

$$\text{ou comme } \alpha = 2\pi nt \quad \text{et} \quad dt = \frac{d\alpha}{2\pi n},$$

$$d\omega = \frac{1}{2} \frac{Qe}{2,92 T} \cdot 2\pi nr (\cos \alpha - \sin \alpha) d\alpha,$$

$$\text{d'où } \omega = \frac{ds}{dt} = \frac{1}{2} \frac{Qe}{2,92 T} r (\sin \alpha + \cos \alpha),$$

$$\text{et } s = \frac{1}{2} \frac{Qe}{2,92 T} r (\sin \alpha - \cos \alpha) + c.$$

En calculant l'intégrale définie de 135° à 225° , ce qui correspond à une demi-oscillation de gauche à droite, on a $s = \frac{Qe}{2,92 T} r \sqrt{\frac{1}{2}} = 0^m,0014$; s étant l'oscillation de gauche à droite, on a $s = \frac{Qe}{2,92 T} r \sqrt{\frac{1}{2}} = 0^m,0014$; s étant l'arc décrit dans le cercle dont le rayon est égal à l'unité. — La traverse d'avant étant supposée à $3^m,50$ du centre de gravité, on a pour l'amplitude totale du mouvement d'un de ses points $0^m,0098$ ou $0^m,01$ en nombre rond.

aux mouvements d'oscillation que la machine tend à prendre. Dès que l'on mettra les roues motrices en mouvement, les actions intérieures que nous avons analysées se développeront avec une intensité proportionnelle au carré de la vitesse de rotation des roues; la machine oscillera de l'avant à l'arrière et de droite à gauche dans les limites d'amplitude que nous avons indiquées.

Mais en réalité la machine, qui ne peut avoir ses roues en prise avec les galets et marcher sur place qu'à la condition de rester exactement au point où l'axe de l'essieu moteur et celui des galets sont compris dans un même plan vertical, est maintenue dans sa position par des cales en bois appliquées aux roues d'avant et d'arrière, et le frottement de glissement au contact des roues de support est suffisant, dans la plupart des cas, pour surmonter l'effet des forces qui tendent à produire l'oscillation transversale. Lorsqu'on mettra les roues motrices en mouvement en donnant un peu de vapeur, la machine ne se déplacera plus en avant et en arrière, à droite et à gauche; mais pour peu que les roues tournent un peu vite, on verra se manifester un mouvement général de trépidation dans la machine, produit par les forces perturbatrices dont l'effet ne peut plus se manifester librement. C'est à tel point que dans quelques cas on a été obligé de renoncer à l'usage des galets pour l'alimentation de certaines machines.

Si l'on suppose maintenant la machine attelée à un convoi et en marche, il est également facile de se rendre compte de l'influence qu'exerceront les forces perturbatrices. Si la machine est en marche sous l'action permanente de la vapeur et qu'elle soit arrivée à une vitesse uniforme, l'effort que la résultante des forces qui produisent l'oscillation longitudinale exerce sur elle, lorsque cet effort est dirigé en sens contraire du mouvement de translation, peut être constamment inférieur à l'effort de traction exercé sur la barre d'attelage; celle-ci restant toujours en charge n'éprouvera aucune secousse, aucun choc, si elle est complètement rigide et si les pièces auxquelles elle s'attache sont également rigides. Mais si le train descend une pente ou s'il est peu chargé, ou bien enfin si la vitesse est telle que l'effort dû aux actions perturba-

trices l'emporte sur l'effort de traction dû au travail de la vapeur sur les pistons, l'effet inverse aura lieu; à chaque révolution des roues motrices la machine sera sollicitée en arrière et cessera de tirer sur la barre d'attelage, de telle sorte que la masse du train conservant sa vitesse acquise viendra pousser la machine; mais pendant la même révolution, dans sa seconde moitié, la résultante changeant de sens viendra s'ajouter à l'effort de traction, et la barre d'attelage sera de nouveau tirée. Cet effet aura lieu quelles que soient les circonstances de la marche, lorsque le mécanicien fera le régulateur et que le convoi tout entier ne marchera plus que par suite de la vitesse acquise, qui ne s'amortit que très-lentement, ou par l'action de la gravité s'il est sur une pente rapide. Il se produira donc, comme on l'observe en effet, pour peu qu'il y ait du jeu dans l'attelage, une série de chocs successifs dont l'intensité croîtra très-rapidement avec la vitesse.

Le couple résultant, qui tend à faire osciller la machine autour de l'axe vertical, passant par le centre de gravité, exercera son action sur la machine en marche comme lorsqu'elle est en mouvement sur place: seulement le mouvement de déviation de l'axe, qu'il tend à produire, se combinera avec le mouvement de translation. Si le frottement des roues sur les rails était nul, la machine obéirait librement à cette action perturbatrice et prendrait un mouvement serpentant ou de lacet; tant que le moment des résistances dues au frottement n'est pas dépassé par le moment du couple résultant des actions perturbatrices, l'action de celui-ci a pour effet seulement de produire des efforts de torsion auxquels le châssis obéit plus ou moins, suivant sa rigidité, ou de faire osciller la machine sur ses supports s'il y a du jeu dans les boîtes à graisse. Mais si la machine, par suite du mode de construction et de l'état de la voie ou par suite de ses propres conditions de construction ou d'entretien, est prédisposée au mouvement de lacet, cette nouvelle action vient s'ajouter aux autres, et produit des superpositions d'effets, qui peuvent occasionner effectivement le mouvement de lacet des roues elles-mêmes, et donner à ce mouvement une amplitude dangereuse.

Le mouvement de tangage et de lacet, ou plus exactement l'action des causes intérieures qui tendent à les produire, a pour résultat de fatiguer et de déterminer l'usure des organes de la machine; le mouvement de lacet peut, en outre, devenir une cause d'insécurité.

2° CAUSES D'INSTABILITÉ INHÉRENTES A L'ACTION DE LA VAPEUR SUR LES PISTONS. — Si le cylindre était à une distance très-considérable de l'essieu moteur, de telle sorte que la bielle pût être considérée comme restant toujours parallèle à l'axe du cylindre, la pression transmise par cette bielle à la manivelle se décomposerait toujours en une force parallèle à l'axe du cylindre, appliquée au centre de l'essieu et faisant l'équilibre, par l'intermédiaire des plaques de garde et des châssis, à la pression exercée par la vapeur sur le fond du cylindre, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Les choses se passent encore de même lorsque l'on revient aux dimensions ordinaires des bielles; la pression exercée dans le sens de l'axe du cylindre sur l'essieu est toujours égale et directement opposée à la pression exercée sur le fond du cylindre; ces efforts alternatifs de pression et de traction sur le châssis peuvent avoir pour résultat de fatiguer le châssis qui sert d'intermédiaire, ou de faire *claquer* les boîtes à graisse sur les guides des plaques de garde, s'il existe entre eux un jeu de quelque importance.

En effet en se reportant à la *fig. 1, pl. 3*, et aux notations de la page 56, on voit qu'au point *m*, centre du boulon d'attache de la bielle sur la coquille, il y a équilibre entre la pression exercée sur le piston, celle que transmet la bielle et la résistance

des glissières; l'effort transmis par la bielle est donc égal à $\frac{P}{\cos \beta}$ et donne sur le centre de l'essieu un effort de même valeur dirigé suivant *ox*; la composante de cet effort, suivant l'axe du cylindre, est donc égale à *P*.

Mais si, au lieu de supposer le cylindre horizontal, comme nous l'avons fait, nous passons à un cas extrême, si nous supposons

qu'il soit vertical, comme cela avait lieu dans les premières machines, les ressorts de suspension se trouveront intercalés entre le fond du cylindre et l'essieu et obéiront aux efforts alternatifs de pression et de traction, exercés en sens contraire sur l'un et sur l'autre; les deux manivelles étant à angle droit, il se produira, de part et d'autre de la machine, des effets qui tantôt s'ajouteront et tantôt se contrarieront, de telle sorte qu'en somme, la machine prendra un mouvement d'oscillation très-marqué, croissant avec la pression de la vapeur et l'élasticité des ressorts et qui constituera le *mouvement de roulis* dans toute sa simplicité. C'est en effet ce qui a été observé sur le chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon, où les premières machines avaient leurs cylindres verticaux, ce qui les avait fait baptiser du nom de *scieurs de long*; lorsqu'on a voulu suspendre les châssis sur des ressorts, en vue d'améliorer leur construction primitive, elles ont pris un tel mouvement de roulis que, dès que la pression de la vapeur était un peu forte, les pistons venaient briser les fonds des cylindres, et qu'il a fallu renoncer à ce mode de suspension.

Si les cylindres et les roues motrices d'une machine, construite comme nous venons de l'indiquer, étaient placés à l'avant ou à l'arrière assez loin du centre de gravité, il se produirait un mouvement de galop très-marqué résultant de la coïncidence périodique des pressions, tantôt sur le fond supérieur, tantôt sur le fond inférieur des cylindres; la combinaison des deux mouvements de galop et de roulis donnerait à la machine une allure *débranchée*.

Cette circonstance ne se rencontre plus dans les machines que l'on construit actuellement, mais souvent on donne aux cylindres une inclinaison qui va jusqu'à 16 degrés. La pression exercée alternativement sur chaque fond d'un même cylindre donne une composante verticale qui tend à faire *rouler* et *galoper* la machine sur ses supports, d'une manière d'autant plus marquée que la pression de la vapeur est plus élevée, que l'inclinaison des cylindres est plus grande, que les ressorts sont plus élastiques. Dans une machine à quatre roues, cette tendance ne serait contre-balançée que par le poids de la machine et par la distance du centre

de gravité du corps de la machine à l'essieu moteur, autour duquel le mouvement de galop tend à se produire ; dans les machines à six roues elle est combattue par la résistance des ressorts d'arrière. Il convient donc, dans tous les cas, de ne pas donner trop d'élasticité aux ressorts, dans les machines à cylindres inclinés encore moins que dans les autres. Dans une machine à quatre roues, on comprend que le mouvement de roulis, que tend à produire le défaut de symétrie des actions exercées de part et d'autre de la chaudière, pourrait se manifester si les ressorts étaient très-flexibles ; mais il y a tout lieu d'admettre que, dans les machines à six roues, l'écartement des points d'appui et opposés en diagonale est trop grand pour que son effet puisse se manifester. Lorsque les cylindres des machines sont intérieurs au châssis et sont peu écartés d'axe en axe, le mouvement de roulis n'a plus aucune importance.

Le mouvement de galop produit par l'inclinaison des cylindres peut s'observer facilement dans les anciennes machines à voyageurs du chemin de fer de Rouen, dont les roues d'arrière ne sont pas chargées ou ne le sont que très-peu : en les plaçant sur les galets d'alimentation on voit les plaques de garde des roues d'avant et d'arrière osciller d'au moins 0^m 01, par rapport aux boîtes à graisse qui restent fixes.

La pression de la vapeur fait naître encore une autre perturbation, dont l'influence peut être assez nuisible dans certaines machines chargées d'une manière très-insuffisante sur l'avant, pour qu'elle mérite d'être signalée. Nous avons vu que la pression transmise par la bielle à la manivelle donnait lieu à une pression égale et parallèle appliquée au centre de l'essieu et dont la valeur était égale à $\frac{P}{\cos \beta}$; nous avons indiqué le rôle que jouait sa composante dans le sens de l'axe du cylindre, l'autre composante, dans le sens perpendiculaire à cette direction, est égale à $P \frac{\sin \beta}{\cos \beta}$; elle est exactement égale et de sens contraire à la pression exercée par la coquille du piston au point *n*, et forme avec elle un couple

qui tend à faire tourner la machine de l'avant à l'arrière et dont le moment est égal à $P \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \times om$. — Or, on a : $L \sin \beta = r \sin \alpha$

$$\text{d'où } \sin \beta = \frac{r}{L} \sin \alpha \text{ et } \cos \beta = \frac{1}{L} \sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \alpha}$$

et $om = r \cos \alpha + L \cos \beta$; le moment de ce couple est donc égal à $Pr \left\{ \sin \alpha + \frac{r \sin \alpha \cos \alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} \right\}$ expression qui est exactement la même que celle du couple qui produit le mouvement de rotation.

Pour l'autre côté de la machine on a un couple semblable dont la valeur est — $Pr \left\{ \cos \alpha + \frac{r \sin \alpha \cos \alpha^2}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} \right\}$

L'action de ces deux couples tantôt se contrarie, tantôt s'ajoute ; elle produirait le mouvement de roulis dans le premier cas, si la machine pouvait se prêter au déhanchement nécessaire ; elle tend, dans le second cas, à produire le mouvement de galop, lorsque les conditions de construction de la machine sont appropriées à cet effet : si, par exemple, elle était à quatre roues avec le centre de gravité à une petite distance seulement en avant de l'essieu moteur.

3^e INTENSITÉ DES ACTIONS PERTURBATRICES. — Parmi les actions perturbatrices, l'une, celle qui produit le mouvement de lacet, peut, par un concours de circonstances faciles à reproduire, compromettre la sécurité de la marche en donnant au mouvement serpentant de la machine une amplitude considérable. Le mouvement de galop peut également, quoique d'une manière moins directe, aggraver les chances de déraillement qui résultent du mouvement de lacet lorsqu'il prend une amplitude assez considérable sous l'action des causes multiples qui le produisent ; en effet, il a pour résultat de faire osciller l'avant de la machine et de produire périodiquement, à chaque tour des roues motrices, une diminution de la charge des roues d'avant, de telle sorte qu'elles puissent plus facilement monter sur les rails, au moment où le boudin vient le

frapper brusquement et lorsqu'elles rencontrent un obstacle qu'elles surmonteraient facilement si elles étaient suffisamment chargées. Pour la machine que nous avons prise comme type, le couple produit par la pression sur les glissières, pression qui s'exerce toujours sur la glissière supérieure, peut être ramené à une force appliquée au milieu de cette glissière, l'axe de l'essieu étant considéré comme fixe; dans les circonstances normales de travail de la vapeur la valeur de la résultante varie de 700 à 1,100 kilogrammes, tandis que la charge des roues d'avant est, dans l'état normal et par suite du porte-à-faux du foyer, d'environ 6,000 kilogrammes. Pour peu que le mécanicien, dans le but d'augmenter l'adhérence, cherche à augmenter la charge des roues motrices en serrant les écrous de leurs ressorts de suspension, la charge des roues d'avant se trouvera diminuée et, en définitive, leur pression sur le rail pourra être réduite à 3,000 ou 4,000 kilogrammes, ce qui est tout à fait insuffisant, si la machine est susceptible de prendre un mouvement de lacet très-marqué. On serait ainsi amené à croire que, toute réserve faite pour l'état de la voie, les déraillements spontanés qu'ont éprouvés plusieurs machines construites sur ce type, ont eu pour cause additionnelle le mouvement de lacet et l'insuffisance de la charge des roues d'avant, aggravée par le mouvement de galop. On a été conduit, en effet, à donner une grande rigidité aux ressorts d'avant et d'arrière, afin d'empêcher l'effet des coïncidences d'oscillation verticale de l'avant et d'oscillation latérale; on a même été conduit à limiter par des arrêts, au-dessous de ce qui convient à la puissance des organes, la tension des ressorts et l'adhérence des roues motrices.

Le mouvement de roulis occasionné par les actions perturbatrices intérieures, s'il pouvait se développer d'une manière assez marquée, influencerait sensiblement sur la conservation de certaines pièces en déterminant des torsions et des frottements latéraux; mais on peut ne pas en tenir compte, on en rendra les effets insensibles en donnant aux ressorts une rigidité suffisante.

Les forces qui produisent le lacet et le tangage ont des effets destructeurs très-marqués. Le mouvement de lacet, produit ou

favorisé par leur action, détermine des frottements transversaux des roues sur les rails et une usure inégale des bandages; pour les roues motrices cette usure est inégale; ces effets sont certains, car l'application des contre-poids, dont nous parlerons plus loin, a suffi pour les faire disparaître en même temps que le mouvement de lacet. Leur action destructive la plus grave s'exerce plus particulièrement sur le châssis qui prend du gauche et sur les pièces qu'il porte, dont le montage est faussé, sur les assemblages de toute nature, sur la liaison de la chaudière et des cylindres avec le châssis, sur l'attelage du tender, sur les manivelles, etc. Pour faire apprécier d'une manière plus sensible ces effets, il nous suffira de donner un tableau indiquant, pour les principales positions de la manivelle et pour différentes vitesses, l'intensité de la résultante des forces appliquées suivant l'axe de la machine et qui produisent le mouvement de tangage. Des nombres compris dans ce tableau sont applicables à la machine déjà prise pour exemple; — n indique le nombre de tours des roues motrices par 1".

Valeur de l'angle de la manivelle de droite.	Valeur de la résultante qui tend à produire le mouvement de tangage.		
	$n=2$	$n=3$	$n=4$
α	kilog.	kilog.	kilog.
0°	-1104,4	-2484,8	-4417,6
45°	-1561,2	-3519,0	-6244,8
90°	-1104,4	-2484,8	-4417,6
135°	0	0	0
180°	+1104,4	+2484,8	+4417,6
225°	+1561,2	+3519,0	+6244,8
270°	+1104,4	+2484,8	+4417,6
315°	0	0	0

Le signe + indique les efforts dirigés de l'avant vers l'arrière, et le signe - les efforts de l'arrière vers l'avant. Les vitesses de rotation pour lesquelles les calculs ci-dessus ont été faits cor-

respondent, en mètres parcourus par seconde et en kilomètres parcourus par heure, aux nombres suivants :

Nombre de tours par 1''.....	$n=2$	$n=3$	$n=4$
Vitesse en mètres par 1''.....	10 ^m 56	15 ^m 84	21 ^m 12
do en kilomètres par heure.	38 ^{kilom.}	57 ^{kilom.}	76 ^{kilom.}

Ces nombres devraient être doublés si on reproduisait le calcul pour une machine à marchandises, à cylindres extérieurs et à 6 roues accouplées, car le poids de l'attirail moteur est double à peu près du poids qu'il atteint dans la machine à voyageurs.

Ces nombres permettent également d'apprécier l'intensité des actions qui tendent à faire osciller latéralement la machine, car il suffit de les multiplier par la moitié de la distance d'axe en axe des cylindres pour avoir le moment du couple résultant.

4^e MOYENS EMPLOYÉS POUR DÉTRUIRE L'INSTABILITÉ PROPRE DES MACHINES. — On s'est beaucoup préoccupé des moyens de rendre aux machines la stabilité que leur avait fait perdre l'adoption du système des cylindres extérieurs qui avait complètement la vogue, il y a quelques années à peine, et surtout l'adoption du système des longues chaudières avec foyer en porte-à-faux de Stephenson. C'est depuis peu de temps seulement que l'appréciation exacte des causes d'instabilité, que nous venons d'analyser, a permis d'arriver à leur neutralisation rationnelle et complète par des moyens d'une grande simplicité pratique. C'est du reste uniquement au mouvement de lacet qu'on s'était appliqué à remédier.

On a cherché à gêner les oscillations latérales de la machine en la serrant fortement contre le tender avec un ressort de traction très-rigide et une barre d'attelage à double vis. Ce moyen ne manque pas d'efficacité pour les machines légères, lorsqu'on a soin de ne pas employer des tampons élastiques dont les effets se contrarient. On a essayé un appareil spécial, nommé *antilacet*, composé de deux plongeurs, fixés chacun d'un côté de la machine par sa tige et mobiles dans un presse-étoupes fortement serré, attaché au tender ou *vice versa*; ces appareils ne peuvent jouer qu'en déterminant une résistance, que l'on règle à volonté et qui

contrarie d'une manière permanente, et quel que soit le sens du mouvement du plongeur, la tendance à l'oscillation de la machine. Le serrage du tender, l'emploi de l'*antilacet* ne peuvent que gêner la manifestation du mouvement de lacet, mais non pas faire directement équilibre aux forces qui le produisent. Nous ferons remarquer du reste que, s'ils ne peuvent pas empêcher complètement les effets apparents du mouvement de lacet qui trouve toujours dans la flexibilité du châssis le moyen de se manifester, ils peuvent, moyennant un serrage convenable, annuler les effets extérieurs du mouvement de tangage; mais ils ont l'un et l'autre l'inconvénient d'augmenter considérablement la longueur de la base de la machine, à laquelle se trouve incorporé le tender, et de la placer dans de mauvaises conditions pour l'entrée dans les courbes; l'*antilacet* ne tarde pas à prendre la position moyenne qui convient au rayon de la courbe; mais à l'entrée, s'il n'y a pas un raccordement parabolique entre la ligne droite et l'axe de cercle, il place la machine dans des conditions défavorables.

On s'est appliqué en outre à obtenir la stabilité en augmentant l'écartement des essieux extrêmes et la charge qu'ils ont à supporter; on a augmenté ainsi le moment de la résistance due au frottement transversal des roues sur les rails dans les courbes et on l'a fait prédominer largement sur le moment des actions perturbatrices. Ce moyen a du reste pour lui l'avantage de combattre l'influence des causes d'instabilité inhérentes à la voie ou au mode de construction et à l'état d'entretien de la machine; mais, comme les précédents, il s'oppose aux effets sans combattre la cause, et de plus il n'exerce aucune influence sur le mouvement de tangage. On a en outre pensé qu'il y avait avantage pour la stabilité à placer l'essieu moteur à l'arrière de la boîte à feu; cet avantage est évident pour le mouvement de galop; il l'est moins pour le mouvement de lacet, bien qu'il semble, jusqu'à un certain point, que plus l'essieu auquel s'appliquent directement les forces perturbatrices est loin de l'essieu d'avant qu'il faut empêcher de marcher, en serpentant, moins il peut être affecté par l'action de ces forces. La machine Crampton peut être considérée comme l'exagération

de ce système; cette machine, par sa large base (4^m85), par la forte charge que portent ses roues extrêmes, conserve une stabilité remarquable dans toutes les circonstances où elle se trouve placée; mais il est évident qu'elle souffre elle-même. S'il convient en effet qu'une machine n'obéisse pas trop facilement aux inégalités transversales de la voie, en se jetant de côté et en se mettant à osciller toutes les fois que les roues rencontrent une *bosse*, il faut qu'elle puisse obéir, dans une certaine mesure, à ces inégalités, sans exercer sur les rails des pressions qui peuvent les écraser ou les rompre; il faut également que le parallélisme des essieux ne produise pas une trop grande résistance au passage dans les courbes.

La véritable solution de la question de la stabilité, quant à la neutralisation des actions perturbatrices engendrées par le jeu des organes de la machine, se rencontre dans l'application des contre-poids. Depuis longtemps les constructeurs, et Sharp et Roberts en première ligne, ont appliqué des contre-poids sur les roues motrices; cette pratique était plus ou moins basée sur l'étude rationnelle des faits que nous avons analysés en détail; mais ce qu'il y a de certain, c'est que, il y a une dizaine d'années encore, les personnes qui s'y conformaient le faisaient instinctivement et par imitation; on comprenait avec plus ou moins de précision qu'il fallait combattre l'effet de la force centrifuge et on appliquait, à l'opposé des manivelles, des contre-poids égaux ou équivalents, suivant leur position, au poids des parties tournantes de la machine et, pour en déterminer les dimensions, on mettait les roues motrices sur les pointes d'un tour, en augmentant le contre-poids jusqu'à ce qu'il fit équilibre au poids de la manivelle et de la bielle suspendue par sa petite tête à un point fixe qui représentait la coquille du piston.

W. Fernihough, ingénieur anglais, paraît avoir compris dès l'année 1845 la nécessité d'équilibrer également toute la partie de l'attirail animée d'un mouvement rectiligne alternatif. Il arrivait à ce résultat au moyen de contre-poids placés entre les rayons des roues. Plus tard, en 1847, G. Heaton a imaginé son système

consistant à faire osciller une masse suspendue à une tige d'une certaine longueur ou guidée par des glissières, en sens contraire du piston, en la reliant par une bielle semblable à la bielle motrice et par une fausse manivelle, ces contre-poids représentant exactement le poids de l'appareil en mouvement rectiligne. Dans le courant de la même année 1847, en Allemagne, M. Haswell, directeur de la fabrique de machines du chemin de fer de Vienne à Raab, avait pris un brevet pour l'application de contre-poids faisant équilibre à la totalité des pièces en mouvement; plus tard M. Nollau, ingénieur allemand, fit connaître dans une note insérée en 1848 dans le journal des chemins de fer de Stuttgart, la cause exacte des actions perturbatrices, et fit voir qu'on pouvait la détruire rationnellement par l'application des contre-poids. Il est à remarquer toutefois qu'il s'est arrêté dans la voie qu'il avait ouverte en établissant en quelque sorte un équilibre moyen. M. Le Chatelier, notre collaborateur, a complété ces recherches et fait voir, dans son Mémoire publié au commencement de l'année 1849, qu'au moyen d'un contre-poids placé sur chaque roue on pouvait arriver à l'équilibre exact des actions perturbatrices qui produisent les mouvements de tangage et de lacet. C'est du reste ce Mémoire qui a déterminé l'adoption rationnelle des contre-poids sur les chemins de fer français où elle est devenue à peu près générale; le procédé de M. Heaton n'a pas reçu, que nous sachions, d'application pratique, il ne dispenserait pas du reste d'équilibrer le moyeu ou les manivelles par un contre-poids ordinaire; et dans la plupart des cas, il nécessiterait de complication coûteuse et gênante de mécanisme. L'initiative de l'ingénieur W. Fernihough paraît être restée inconnue jusqu'à la publication du grand ouvrage de D. Clarke sur les locomotives.

Nous avons supposé, dans la machine que nous avons prise pour exemple, que toutes les masses mises en mouvement avaient leur centre de gravité dans le même plan et que ce plan était le plan moyen des roues; s'il en était ainsi, il suffirait d'appliquer, entre les rayons et contre la jante, un bloc de fonte dont le moment par rapport à l'axe de l'essieu, serait égal à la somme

des moments du moyeu servant de manivelle et de tout l'attirail mobile (bielle, piston, tige, coquille, etc.) supposé suspendu au bouton de la manivelle. Mais il n'en est pas ainsi : les différentes masses qu'il faut équilibrer ou qui forment contre-poids, ont leurs centres de gravité dans des plans différents et il faut tenir compte de leur écartement pour le mouvement de lacet ; ces différences d'écartement sont souvent considérables, notamment pour les machines à cylindres intérieurs. On y parvient facilement en remarquant que la force perturbatrice, due à chaque pièce, peut être considérée comme la résultante de deux composantes placées chacune dans les plans des deux roues ; on fait pour un côté de la machine la somme des composantes dans chaque roue et on applique le contre-poids qui lui fait exactement équilibre à l'opposé de la manivelle correspondante ; on fait le même calcul pour l'autre côté de la machine et on a ainsi dans chaque roue deux contre-poids inégaux que l'on compose en un seul intermédiaire d'après les règles ordinaires de la statique. Nous renverrons du reste, pour les détails du calcul et de l'application, au Mémoire de M. Le Chatelier que doivent consulter toutes les personnes qui ont à faire l'application pratique des contre-poids.

Dans les machines à cylindres extérieurs avec roues accouplées de petit diamètre, il ne suffit pas généralement de garnir complètement en fonte l'espace compris entre trois ou quatre rayons consécutifs, il faut reporter une partie du contre-poids sur l'une des roues accouplées, ce qui n'a d'autre inconvénient que d'augmenter un peu le travail de la bielle. Dans les machines à cylindres intérieurs et à roues accouplées l'appareil d'accouplement peut être disposé, moyennant un calage convenable des moyeux sur les portées des essieux, de manière à former contre-poids ; on ajoute au besoin un contre-poids additionnel sur la roue motrice.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce sujet et nous pensons que ce qui précède suffira pour que dans chaque cas particulier on puisse apprécier quelle influence exercera sur la stabilité d'une machine la dispositions de ses organes.

Les notions qui précèdent, sur l'application des contre-poids,

ont donné lieu à des critiques assez vives ; on a prétendu qu'il y avait inconvénient à équilibrer, par des masses animées d'un mouvement de rotation, les pièces du mécanisme accrues d'un mouvement d'oscillation rectiligne. Bien que l'expérience n'ait pas démontré l'exactitude de cette appréciation, et tende à démontrer au contraire que : de tous les effets produits, au point de vue de l'usure des bandages et de l'usure des rails, au point de vue de l'entretien des machines, les plus destructeurs sont ceux qui tendent d'une part à produire un mouvement de lime au contact des roues sur les rails, et de l'autre à ébranler les assemblages de la machine par une vibration longitudinale à chaque tour des roues motrices, il en est résulté une certaine incertitude dans l'esprit des ingénieurs et des constructeurs ; ils cherchent en général à se placer dans une situation intermédiaire en n'équilibrant qu'une partie des masses soumises au mouvement d'oscillation rectiligne.

Cette pratique a dans tous les cas l'avantage de diminuer la masse des contre-poids, dont il est souvent embarrassant de trouver la place, et la différence entre un équilibre rigoureux et un équilibre obtenu aux $\frac{2}{3}$, aux $\frac{3}{4}$ seulement, est assez peu important pour qu'il n'y ait pas lieu d'insister sur ce point.

§ 4. — Résumé.

Nous avons essayé, dans les trois paragraphes qui précèdent, de mettre en lumière toutes les causes qui concourent à donner de l'instabilité aux machines ; dans quelques cas nous avons pu établir d'une manière rigoureuse la cause et le mode d'action des perturbations, sans pouvoir toutefois démontrer avec la même rigueur la manière dont cette action devait affecter le mouvement effectif de la machine ; dans d'autres cas, nous avons seulement présenté des aperçus qui pouvaient tenir lieu plus ou moins de démonstration, lorsque nous ne pouvions pas donner géométriquement et d'une manière rationnelle l'analyse des causes d'instabilité ; on relèvera peut-être quelques considérations erronées, mais nous avons pensé qu'il était de notre devoir d'entrer aussi avant que

possible dans la question, qui n'a été qu'ébauchée pour ce qui concerne l'objet des deux premiers paragraphes. Ce que nous désirons, c'est que notre exemple puisse provoquer des travaux sérieux, qui mettent aussi complètement que possible en évidence les causes de perturbation qu'on n'a fait qu'entrevoir et apprécier d'une manière plus ou moins vague.

Si nous jetons un coup d'œil en arrière sur ce que nous avons dit au sujet de l'instabilité, nous verrons que les mouvements anormaux qu'une machine peut prendre, indépendamment du mouvement normal de translation, se réduisent à quatre : 1° un mouvement de va-et-vient dans le sens du mouvement de translation de la machine, qu'on doit attaquer le plus près possible de son origine et qu'on peut neutraliser entièrement par l'application des contre-poids ; 2° trois mouvements de rotation autour de chacun des trois axes principaux de la machine, le mouvement de *galop* qui peut être réduit à des proportions inoffensives par une rigidité convenable des ressorts de suspension et une bonne répartition des points d'appui, pourvu que l'axe des cylindres ne soit pas trop fortement incliné, et par la répartition de la charge sur les différents essieux ; 3° le mouvement de *roulis* qui, dans les circonstances habituelles de la pratique, n'a qu'une importance très-secondaire et qui exige seulement une certaine rigidité des ressorts de suspension ; 4° et enfin le mouvement de *lacet*. Ce dernier mouvement résulte de causes multiples inhérentes à la voie, au montage de la machine et à son état d'entretien, à la disposition et au poids de ses organes moteurs ; il est incontestable que les effets de ces diverses causes se superposent, car sans cela on n'expliquerait pas l'amplitude qu'il peut prendre dans certaines circonstances, au point de déranger l'alignement des rails en déplaçant les traverses et au point d'occasionner des déraillements ; on sait du reste, comme nous l'avons déjà dit, que le mouvement de *lacet* diminue lorsqu'on améliore la forme des rails et qu'on les écarte d'une quantité suffisante, lorsqu'on améliore l'entretien de la voie, lorsqu'on rectifie le montage des essieux et lorsqu'on répare les machines et spécialement leur bandages, lorsqu'on équi-

libre les pièces du mécanisme, lorsqu'on modifie le mode de répartition de la charge sur les essieux.

Aucune des précautions que nous venons d'énumérer ne doit être négligée et, par leur ensemble, on peut arriver à un degré de stabilité qui ne laisse rien à désirer au point de vue de la sécurité et de la conservation du matériel. Les constructeurs et les ingénieurs qui dirigent l'exploitation des chemins de fer ne doivent jamais les perdre de vue.

On ne doit pas conclure de ce que nous avons dit plus haut que l'application rigoureuse des contre-poids doit rendre indifférent sur le choix d'un système de machines, qu'il suffit de disposer les diverses parties d'une machine de telle sorte que l'écartement des essieux assujettis au parallélisme soit compris entre certaines limites appropriées au rayon des courbes dans lesquelles elle doit circuler, que le centre de gravité soit placé, par rapport aux essieux, de manière que chacun d'eux ait à supporter la charge qu'il convient de lui donner et enfin que les organes du mécanisme soient convenablement équilibrés. Pour des machines à roues indépendantes on peut placer indistinctement les cylindres à l'intérieur ou à l'extérieur et profiter, comme on l'entend, des avantages propres à chacun de ces systèmes ; mais, pour les machines à marchandises, on doit, au point de vue de la stabilité, donner la préférence aux cylindres intérieurs qui permettent d'équilibrer rigoureusement l'attirail moteur au moyen de l'appareil d'accouplement ; si les cylindres sont extérieurs, on est obligé de donner aux boutons des manivelles des porte-à-faux considérables et par suite les contre-poids atteignent des dimensions énormes, car ils doivent équilibrer simultanément l'appareil moteur et l'appareil d'accouplement, et les boutons de manivelle résistent difficilement aux actions et aux réactions qu'ils ont à supporter. En outre, on ne peut pas aisément, lorsque les cylindres sont extérieurs, à moins de leur donner une inclinaison considérable, arriver à une répartition convenable du poids sur les roues, si l'on veut accoupler seulement les roues d'avant avec les roues motrices et réduire les roues d'arrière à un rôle secondaire en ne leur donnant qu'une faible partie de la charge à supporter.

CHAPITRE III.

Dimensions principales des Machines.

Nous avons réuni dans un même tableau les dimensions principales de la plupart des types de machines employées sur les chemins de fer français. Ce renseignement suppléera à l'insuffisance des indications que nous avons données et qui nous restent à résumer pour les conditions générales de construction des machines et au vague dans lequel nous avons dû nécessairement nous maintenir en traitant une question qui se complique d'éléments très-variés. Nous ferons précéder ce tableau de la nomenclature des machines qu'on y voit figurer, complétée par quelques observations sur les qualités et les défauts de chaque type; nous supposerons ces diverses machines équilibrées par des contre-poids, et nous ferons, par conséquent, abstraction de la part d'instabilité inhérente au jeu des pièces qui, dans quelques-unes de ces machines, était très-marquée avant leur application.

N° 1. — SHARP ET ROBERTS, 1840. — Ce type, quoique très-ancien et d'une puissance inférieure à celle des machines actuelles, mérite d'être étudié; il est encore en service sur quelques chemins de fer, où la bonne disposition de toutes ses parties et sa solidité l'ont fait résister au temps. Il a été décrit par M. Félix Mathias : *Etudes sur les machines locomotives de Sharp et Roberts*, 1844. Voir les planches d'ensemble 54, fig. 1 et 2, et 55, fig. 1. La plupart de ces machines ont été récemment transformées en machines-tender; les caisses à eau sont situées soit derrière le foyer, soit latéralement en dehors des longerons; elles font encore avec succès le service de banlieue dans la semaine.

N° 2. — BUDDICOM, 1845. — M. Buddicom a introduit en

France, à l'époque de la construction du chemin de fer de Paris à Rouen, un type particulier de machines à voyageurs dont nous avons décrit la plupart des pièces. Ces machines se font remarquer par la simplicité de leur construction, par la facilité et l'économie des réparations et par leur poids qui est de 12 tonnes 1/2, sans charge. Les premières machines de M. Buddicom avaient des foyers trop petits pour le combustible employé en France, mais elles ont fait et font encore un excellent service avec du coke anglais de très-bonne qualité. Les machines que ce constructeur a fournies plus tard au chemin de Rouen lui-même, aux chemins du Havre, d'Orléans à Bordeaux et d'Amiens à Boulogne, ont eu leurs foyers agrandis, ainsi que leurs cylindres. C'est à ce type modifié que se rapportent les détails que nous avons donnés dans le livre II et les chiffres consignés dans la deuxième colonne du tableau. Ces machines peuvent être considérées, par la disposition de leur châssis, par la répartition du poids sur les essieux et par la simplicité de chaque pièce prise isolément, comme un bon type de machines à cylindres extérieurs; seulement la position des cylindres, qui est combinée de manière à diminuer le porte-à-faux sur les côtés et en avant de l'essieu antérieur, et celle du tiroir qui est en dessus, n'a pas permis jusqu'ici de leur appliquer d'une manière convenable la détente variable au moyen de la coulisse de Stephenson; l'inclinaison des cylindres leur donne en outre une tendance marquée au mouvement de galop (fig. 2, pl. 55, fig. 1, 2, pl. 56 et 57).

Le tender de M. Buddicom (pl. 49, fig. 1 et 2) est le type de ce qui a été fait de plus simple et de plus léger sur nos lignes françaises. Son châssis est en bois, le frein primitivement à levier, et depuis à vis mue par engrenage et volant, a été ci-dessus décrit.

N° 3. — EST, VOYAGEURS, 1847. — Ces machines ont été étudiées par M. Edwards, d'après un plan de M. Stephenson, et construites par M. Cail; elles sont à cylindres extérieurs horizontaux et à châssis intérieur. Elles contiennent tous les perfectionnements ordinairement appliqués dans les locomotives, et font

encore un excellent service. Plusieurs d'entre elles ont subi un changement récent assez important ; lorsque les foyers ont été changés pour cause d'usure, le *ciel* a été abaissé de 5 centimètres, ce qui a entraîné la suppression du rang supérieur des tubes. Cette diminution de surface de chauffe ne paraît pas avoir réduit la puissance de la machine ; mais par suite de l'agrandissement de la chambre de vapeur, ce qu'on avait en vue, elle est beaucoup moins disposée à primer. Les machines à voyageurs du chemin de fer du Nord, construites en 1845 et 1846, ont à peu près les mêmes proportions et dispositions, sauf les deux détails que voici : le foyer a la forme pyramidale de la *fig. 1, pl. 5*, tandis que dans la machine de l'Est il reste circulaire, comme le montre la *fig. 2, pl. 5*, quoi qu'un peu plus haut que le corps cylindrique. Non-seulement le foyer est allégé et chargé ainsi moins les roues d'arrière, mais on a fait une sorte de contre-poids, à l'avant de la chaudière, du grand réservoir de vapeur contenant la prise, de manière à améliorer la répartition de la charge.

La seconde différence est que dans la machine de l'Est les trois paires de roues sont restées, comme dans le principe, sous le corps cylindrique et avec leur diamètre originaire, tandis qu'au Nord, ce diamètre a été augmenté de 10 centimètres et qu'en raison du grand poids du foyer on a dû, après coup, reculer de 0^m, 40 l'essieu moteur et reporter l'essieu d'arrière en arrière du foyer. Ainsi modifiées, les machines du Nord ont été quelquefois appliquées au service à grande vitesse.

Le tender qui accompagne la machine du chemin de fer de l'Est est représenté à la planche 48. Il est à 4 roues, son châssis est à double flasque de tôle avec semelle de bois intermédiaire, vers le milieu de la longueur seulement ; l'ensemble de l'appareil est d'un modèle élégant ; il a été construit aux ateliers de Graffenstaden sur les plans de M. Edwards ; quoique simple, il n'est pas exempt de quelques difficultés d'exécution. La caisse à eau primitivement limitée à 5 mètres cubes a été portée depuis à 6 mètres, dans les tenders du même type ultérieurement construits. De plus, on a supprimé le bois dans le châssis, les 2 flasques sont alors entiè-

rement entretoisées comme le montre la *fig. 2, pl. 45*. Enfin, au frein à vis très simple qui est indiqué *fig. 3, pl. 48*, on a substitué un frein à cric, où les sabots sont commandés par deux arbres au lieu d'un seul, un arbre pour chaque paire de roues, l'un et l'autre étant reliés au cric par un mouvement de levier qui les font agir en sens contraire.

N° 4. — LYON, VOYAGEURS, 1847. — Ces machines, construites sur les plans de M. A. Barrault par MM. Derosne et Cail, ont été le point de départ de la réaction contre le système des trois essieux entre la boîte à feu et la boîte à fumée ; le diamètre des roues motrices et la répartition du poids les met encore dans de bonnes conditions de puissance, de vitesse et d'adhérence ; elles ont leur dôme de prise de vapeur sur le foyer ; le réservoir de vapeur manque de capacité et surtout de hauteur dans le corps cylindrique de la chaudière ; elles priment avec facilité (*fig. 1, pl. 60*). L'ancien tender de cette machine (*pl. 49*) est un des plus lourds et un des plus compliqués qui aient été construits. C'est un des rares exemples de tenders à 6 roues. Il est remplacé aujourd'hui par le tender de la machine suivante.

N° 5. — LYON, VOYAGEURS, 1856. — Ces machines, étudiées et construites chez M. Cail, rappellent les précédentes dans leurs dispositions fondamentales, à la puissance près ; elles font un excellent service (*pl. 61, 62 et 63*). L'attache du cylindre sur les longerons mérite une attention spéciale ; elle est à peu près la même que celle qui fait l'objet de la *fig. 1 et 2, pl. 19*. Le tender de cette nouvelle machine, construit sur les plans de la Compagnie par M. Farcot, est simple et d'un bon service. :

N° 6. — ORLÉANS, VOYAGEURS, 1855. Ces machines étudiées et construites sous la direction de M. Polonceau, aux ateliers de la Compagnie d'Orléans, font, sur cette ligne et sur ses prolongements, le service des trains à grande vitesse ; l'agencement général du mécanisme, le châssis extérieur, la forme de la coulisse de distribution (*pl. 29*), la longueur réduite et le diamètre également réduit des

tubes, en font un type à part dont le service est satisfaisant. Un grand nombre de machines semblables ont été construites par M. Buddicom. La charge des roues d'avant exposait assez fréquemment leurs fusées à chauffer dans le cas des grandes vitesses. On a injecté sur les boîtes à graisse un filet d'eau, emprunté aux pompes alimentaires, qui prévient très-efficacement cet échauffement; les fusées prennent même bientôt un très-beau poli. — Le tender est à 4 roues, sur châssis de tôle à double flasque.

N° 7. — *MIDI, VOYAGEURS*, 1856. — Ces machines ont été construites par M. Gouin, d'après un projet étudié dans les bureaux de la Compagnie, pour le service à grande vitesse; elles sont à cylindres extérieurs; tout le mécanisme moteur, excentriques, coulisse, relevage, pompes alimentaires, est également à l'extérieur. Les excentriques sont montés sur une contre-manivelle en porte-à-faux du système Sangnier, appliqué d'abord aux machines Crampton, puis aux machines Engerth (*pl. 66 et 75*). Elles sont remarquables aussi par leur puissance de vaporisation et de traction. — Tender simple et léger, à 4 roues et châssis de bois à quadruple longeron.

N° 8. — *CRAMPTON*, 1849. — Ces machines ont été construites pour le service des *trains express* du chemin de fer du Nord par MM. Derosne et Cail, sur les plans d'ensemble de M. Crampton; nous en avons déjà parlé à plusieurs reprises. Elles ont ceci de remarquable, que, sauf quelques modifications de détail qui vont être signalées, elles sont restées telles qu'elles furent conçues dans le principe; après avoir essayé diverses modifications parmi lesquelles se trouve l'augmentation du diamètre des roues porté à 2^m 30, on en est revenu à peu près au type primitif. Les modifications de détail qui ont été apportées à ces machines ou dont l'utilité a été reconnue pour les nouvelles constructions à faire, sont : 1° la position des ressorts des roues du milieu et d'avant à reporter au-dessus des essieux; 2° l'élévation de la cuvette des soupapes de sûreté; 3° l'installation des pompes alimentaires

(placées ici à l'avant de la machine en prolongement des cylindres) dans une position qui permet d'enlever plus facilement les pistons; 4° l'agencement des coulisses de distribution indiquées *pl. 31, fig. 3*. Ces machines se distinguent essentiellement d'ailleurs de tous les autres types par l'abaissement de leur centre de gravité, leur grande stabilité, la grande dimension de leurs fusées, la solidité de leurs organes et en particulier du châssis; leur puissance de vaporisation, et la facilité de la surveillance en marche; toutes ces conditions sont essentielles pour un service où la vitesse peut atteindre, exceptionnellement il est vrai, jusqu'à 100 kilomètres. Le tender des machines Crampton, se distingue principalement par les dimensions des essieux et par le système complet d'accouplement; c'est celui qui est représenté *pl. 44 et suivantes*.

N° 9. — *MIDI, mixte*; 1855. — Ces machines étudiées et construites dans les mêmes conditions que celles du type n° 7, n'en diffèrent aujourd'hui que par : 1° quelques modifications dans la distribution; 2° le diamètre des roues motrices qui est moindre; 3° l'accouplement des roues motrices avec les roues d'arrière; 4° la répartition du poids sur les roues. Ces machines portent leur provision d'eau et de coke et constituent des machines-tender d'une très-grande puissance d'adhérence. Ces machines, dans l'état où se trouvent encore la plupart d'entre elles, paraissent offrir, par la forte charge des roues motrices, par le porte-à-faux de la caisse à eau, qui entraîne des ruptures de longerons, par les variations de charge sur les roues accouplées qu'occasionne la consommation de l'eau, par la faible capacité de la caisse à eau, etc.; quelques inconvénients qu'on songe à faire disparaître. Plusieurs projets de modification ont été essayés; l'un d'eux consiste à enlever la caisse à eau et à la remplacer par une plaque de fonte d'un poids moindre; c'est de la machine non modifiée que nous avons donné les éléments dans le tableau suivant.

N° 10. — *QUEST, mixte*; 1848. — Ces machines ont été con-

struites par M. Cavé, d'après un type spécial que M. E. Gouin avait étudié en 1847 pour le chemin de fer d'Orléans, en prenant pour point de départ le *Mammouth*, dont il va être parlé. Les cylindres et le châssis sont intérieurs, les roues motrices sont accouplées avec les roues d'arrière, qui sont placées en avant de la boîte à feu. Ces machines, à part une certaine propension à l'entraînement de l'eau, résultant de l'insuffisance de la hauteur du réservoir de vapeur dans le corps cylindrique, sont dans de bonnes conditions; elles sont parfaitement appropriées au service du chemin de fer de l'Ouest. — Tender à châssis de bois, très-simple et très-économique de construction.

N° 11. — LYON, *mixte*; 1849. — Ces machines ont été construites par M. E. Gouin, qui a pris pour point de départ un type de Sharp frères. La machine le *Rhône*, dont nous avons décrit les détails, appartient à ce système. Les cylindres sont intérieurs et inclinés, pour que la tige du piston et les glissières puissent passer au-dessus de l'essieu des roues d'avant, qui sont accouplées avec les roues du milieu. Ces machines ont une grande surface de chauffe et un grand réservoir de vapeur; elles font un très-bon service. (*Fig. 1, pl. 64; fig. 2 et 3 pl. 65*). Quelques-unes de ces machines ont été montées sur des roues de 1^m 80 de diamètre. — Même tender que pour les machines à voyageurs.

N° 12. — ORLÉANS, MARCHANDISES, 1845. — Nous avons donné sous ce titre les dimensions de la machine (dite *Mammouth*), du chemin de fer d'Orléans, construite par M. Stephenson et qui a servi de type à un si grand nombre de locomotives sur presque toutes les lignes, au moins comme installation générale et proportions respectives des organes. Au point de vue de la puissance et des dimensions, elle n'a plus guère qu'un intérêt historique. Elle fait néanmoins encore un très-bon service avec des trains de 30 à 35 wagons, sur des lignes à faibles rampes. — Tender à châssis de bois, monté sur 6 roues et suspendu sur des ressorts en spirale.

N° 13. — LYON, MARCHANDISES, 1850. — Ces machines, très-nombreuses aujourd'hui sur les lignes de Lyon, de l'Est et de l'Ouest, ont été construites par M. Cail, suivant un type où les dispositions principales rappellent le *Mammouth* de Stephenson, sauf pour le mécanisme de distribution qui a été emprunté au type n° 11 ci-dessus de M. Gouin, (le *Rhône*). Elles ont une puissance considérable, démarrent promptement, priment peu et sont très-commodes dans la pratique du service (*pl. 67 et 68*). Divers ingénieurs leur ont reproché un excès de profondeur du foyer. — On a réservé pour ces machines le tender lourd et compliqué dont il est question au n° 4.

N° 14. — ORLÉANS, MARCHANDISES. — Ces machines ont été construites aux ateliers du Chemin de fer d'Orléans sous la direction de M. Polonceau (*pl. 70 et 71*). Leurs particularités sont : un châssis à triple longeron (*pl. 38*), l'application d'un ressort sur le milieu de l'essieu moteur, outre les ressorts ordinaires sur les fusées extrêmes de ce même essieu. Les cylindres sont intérieurs, les boîtes à tiroir, le mécanisme de distribution et de relevage, ainsi que les pompes alimentaires sont en dehors des roues et très-facilement abordables. On trouvera plus tard le prix de revient de la construction de ces machines. — Même tender que pour les machines à voyageurs, sauf les dimensions d'essieux et de roues.

N° 15. — BOURBONNAIS, MARCHANDISES, 1857. — Ces machines construites en grand nombre dans les ateliers de M. Cail et dans ceux d'Oullins-lès-Lyon, sur les plans de M. Houël, sont d'une puissance à laquelle on ne peut comparer que les locomotives du système Engerth en service sur d'autres lignes françaises. Elles semblent être la dernière expression de la force qu'il paraît possible d'obtenir sur la voie étroite, en restant dans les formes et dispositions ordinaires. Elles ont été construites principalement en vue de desservir la section de Lyon à Roanne, où il existe des rampes de 18 à 20 millimètres; elles sont à cylindres extérieurs très-solidelement attachés (*voy. pl. 19, fig. 1 et 2*); les pompes alimentaires sont extérieures comme dans les machines

des *pl. 60 et 61*; les châssis sont extérieurs, le mécanisme de distribution entre les châssis, les 3 paires de roues accouplées sont entre la boîte à feu et les cylindres à vapeur, avec un très-grand porte-à-faux sur les essieux extrêmes, qui ne paraît cependant pas nuire à la stabilité; la charge sur les essieux est, d'ailleurs, assez convenablement répartie.

N° 16. — ORLÉANS, SERVICE DES GARES, 1856. — Ces machines, construites sous la direction de M. Polonceau, aux ateliers de la Compagnie et imitées par la Compagnie de l'Est, pour opérer la manœuvre des wagons dans les grandes gares, sont destinées à donner une vitesse très-restreinte, mais à fonctionner dans toutes les courbes, en démarrant rapidement. Elles ont leurs cylindres et tout le mécanisme à l'extérieur; elles portent leur eau dans une bêche sous le corps cylindrique et leur coke dans deux caisses latérales contre la boîte à feu (*pl. 74*). Au chemin de fer du Midi, des machines à peu près semblables sont montées seulement sur 4 roues accouplées.

N° 17. — MIDI, MARCHANDISES, SYSTÈME ENGERTH, 1855. — Comme dans le système primitif de M. l'ingénieur Engerth, le mécanisme est entièrement en dehors, et le tender est réuni à la machine, par une cheville ouvrière en forme d'arrière-train mobile, et supporte le foyer par les côtés. La machine proprement dite est portée sur trois paires de roues situées sous le corps cylindrique, entre la boîte à feu et les cylindres à vapeur; les caisses à eau sont latérales sur la machine; la pression exercée sur les rails par les roues motrices est sensiblement égale. Ces machines étant destinées au midi de la France, où le climat est très-favorable, on n'a pas craint de laisser l'adhérence un peu faible par rapport à la puissance de vaporisation.

N° 18. — NORD, MARCHANDISES, SYSTÈME ENGERTH, 1856. — Ces machines, construites en grand nombre pour les lignes du Nord et de l'Est, au Creusot et sur les plans étudiés dans cet établissement, ont été principalement destinés à la traction des trains très-pe-

samment chargés, et particulièrement au transport des houilles. Ce sont les plus puissantes qui aient encore été employées en service courant. Elles ont tout le mécanisme extérieur. On remarque dans cette machine, que nous avons déjà décrite en détail, sa vaste surface de chauffe, l'accouplement par des bielles ordinaires de 4 paires de roues placées entre le cylindre et la boîte à feu; on remarque aussi la répartition convenable du poids; le côté faible a été jusqu'ici une assez grande complication dans la construction du châssis et l'attache des cylindres, dont le poids et les dimensions sont considérables; en somme, le service de cette machine est excellent, mais les réparations en seront peut-être coûteuses (*pl. 75*).

N° 19. — NORD, ENGERTH, *mixte*; 1857. — Ces machines, construites aux ateliers du chemin de fer du Nord, ainsi que par M. Cavé, M. Kessler et par l'usine Graffenstaden, sur les plans de la Compagnie du Nord, ont eu pour but spécial de remorquer les trains très-chargés de voyageurs et de marchandises à grande vitesse. Ce sont de puissantes machines mixtes à 4 grandes roues accouplées, dont la vaste chaudière a du être reportée en partie sur le tender. Le mécanisme et les cylindres sont entre les châssis, qui eux-mêmes sont intérieurs, les pompes alimentaires seules sont en dehors (*pl. 76, fig. 1*).

N° 20. — NORD, MACHINES DE PORTES RAMPES, 1858. — Ces machines, qui ne sont encore qu'en construction, sont destinées à remorquer des charges ordinaires sur des embranchements d'une faible longueur, à profil accidenté, à petite vitesse et en ménageant la voie; elles ne doivent emporter qu'une provision d'eau et de combustible suffisante pour un petit parcours.

Elles se composent de 3 parties distinctes superposées l'une au-dessus de l'autre, qui peuvent être isolées à l'aide d'une grue pour les réparations; savoir: 1° le mécanisme avec ses roues et le châssis; 2° la bêche à eau en un seul réservoir complet; 3° la chaudière. La machine a 4 roues de petit diamètre toutes accouplées; tout le mécanisme est en dehors; c'est une sorte d'extension de la machine de gare (*pl. 76, fig. 2 et 3*).

Outre les machines dont les dimensions comparées vont faire l'objet du tableau ci-après et qui figurent la plupart aux *pl.* 54 et *suiv.*, celles-ci en donnent cependant plusieurs que nous devons mentionner.

Les *pl.* 58 et 59 représentent une locomotive de Sharp frères, à voyageurs, à mécanisme intérieur et à quadruple longeron, qui est très-répandue encore en Angleterre et qui a succédé, en 1845, à l'ancienne machine, type n° 1 du tableau, employée pendant si longtemps sur toutes les lignes.

La *pl.* 69 donne l'élévation de la locomotive l'*Antée*. Cette machine avait été construite en 1849, sous la direction de M. E. Flachat, dans les ateliers du chemin de fer de Saint-Germain, pour le service de la rampe de 0^m 035 du chemin de fer atmosphérique. Elle fut à son époque la plus puissante qu'on eût encore construite pour la voie étroite, et à ce titre elle a marqué dans l'histoire de la locomotion à vapeur; elle est à cylindres extérieurs inclinés de 4° 35 et à châssis intérieur; les 6 roues motrices sont entre la boîte à feu et les cylindres; ceux-ci ont 0^m 45 de diamètre sur 0^m 70 de course; les roues ont 1^m 21 de diamètre; la chaudière a 120 tubes longs de 4^m 115 et 79^m 70 de surface de chauffe, dont 5^m 90 pour le foyer.

Les *pl.* 72 et 73 représentent une machine-tender *mixte*, à 4 roues accouplées pour le service des trains de banlieue, construite par le mécanicien anglais Hawthorn; elle est à quadruple longeron et à cylindres intérieurs, avec tiroirs et mécanisme de distribution extérieurs. Les caisses à eau sont au nombre de deux, une sous le corps cylindrique, l'autre sous la plate-forme du mécanicien; la caisse à coke est au-dessus de cette dernière caisse à eau, derrière le mécanicien; le diamètre des roues motrices est 1^m 67, celui des cylindres 0^m 34.

TABLEAU

DES DIMENSIONS PRINCIPALES

de 20 Types de Locomotives.

NATURE des machines.....	VOYAGEURS.								CRANES	MIXTES.										MARCHANDISES.					SERVICE DES GARES		MARCHANDISES Engerth.		MIXTE Engerth.		MACHINES pr fortes rampes.										
	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.		Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.										
	QUEST Versailles 1840.	QUEST Havre. 1845.	EST. CAH. 1847.	LYON. CAH. 1847.	LYON. CAH. 1856.	ORLÉANS. CAH. 1854.	MIDI. CAH. 1856.	NORD. CAH. 1857.		QUEST. CAH. 1848.	LYON (Rhône). CAH. 1849.	ORLÉANS (Hammoh). STEPHENSON 1845.	LYON. CAH. 1850.	ORLÉANS. POLOSCAU. 1855.	ORLÉANS. OULLAIS. 1855.	ORLÉANS. POLOSCAU. 1855.	MIDI. NORD. 1855.	NORD. 1855.	NORD. 1856.	NORD. 1856.	NORD. 1858.	QUEST. 1840.	QUEST. 1845.	QUEST. 1847.	QUEST. 1847.	QUEST. 1847.	QUEST. 1847.	QUEST. 1847.	QUEST. 1847.	QUEST. 1847.	QUEST. 1847.										
INDICATION du chemin sur lequel la machine circule.....																																									
NOM du constructeur.....	SHARRP.	BUNICOM.	CAH.	CAH.	CAH.	POLOSCAU.	MIDI.	NORD.	QUEST.	CAH.	CAH.	CAH.	CAH.	CAH.	CAH.	CAH.	CAH.	CAH.	CAH.	CAH.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.	QUEST.			
DATE de la construction.....	1840.	1845.	1847.	1847.	1856.	1854.	1856.	1857.	1848.	1849.	1845.	1850.	1855.	1855.	1855.	1855.	1855.	1856.	1856.	1858.	1840.	1845.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.	1847.				
APPAREIL DE VAPORISATION.																																									
Boite à feu et Chaudière.																																									
Longueur de la grille.....	4,038	4,016	0,925	1,030	1,484	4,100	4,282	4,570	4,000	4,205	0,960	4,210	4,100	4,530	0,920	4,666	4,440	4,282	4,596																						
Largeur de la grille.....	1,018	1,007	0,914	0,900	4,018	1,000	4,052	4,040	0,920	4,042	0,920	0,904	4,100	4,010	0,920	4,080	4,350	4,030	4,261																						
Surface de la grille.....	4,046	4,084	0,845	0,945	4,2053	4,100	4,519	4,425	0,820	4,255	0,8552	4,058	4,210	4,5653	0,846	4,709	4,944	4,540	4,760																						
Hauteur du 1er rang des tubes au-dessus de la grille.....	0,250	4,512	0,656	0,697	0,745	0,690	0,792	0,560	0,680	0,870	0,660	0,860	0,800	0,812	0,600	0,749	0,766	0,919	0,450																						
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille.....	4,168	4,187	4,250	4,550	4,456	4,290	4,518	4,513	4,280	4,205	4,297	4,330	4,280	4,504	4,220	4,370	4,660	4,442	4,128																						
Surface de chauffe.																																									
Nombre des tubes.....	162	145	125	145	136	182	180	177	150	145	159	184	204	197	157	197	255	180	289																						
Longueur des tubes.....	2,350	2,867	3,772	3,488	3,550	3,567	3,462	3,615	4,000	3,920	3,926	3,945	4,017	4,178	4,250	3,565	4,750	5,000	4,500	3,500																					
Diamètre intérieur des tubes.....	0,050	0,045	0,045	0,046	0,0455	0,058	0,045	0,046	0,045	0,045	0,046	0,057	0,045	0,0455	0,045	0,050	0,0516	0,046	0,057																						
Épaisseur des tubes.....	0,002	0,002	0,002	0,002	0,00225	0,0025	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0025	0,002	0,0025	0,0025	0,0025	0,002	0,0022	0,002	0,0015																						
Surface totale des tubes.....	30,012	38,870	69,587	76,250	85,5120	72,800	88,053	95,750	60,8	80,550	77,000	65,715	92,755	114,900	124,8980	62,0000	142,372	186,688	117,000	117,000																					
Surface du foyer.....	3,868	5,798	5,008	5,900	6,7786	6,128	7,777	7,000	4,777	5,500	7,860	5,085	7,188	7,500	8,0164	5,0197	9,608	3,708	8,500	6,680																					
Surface de chauffe totale.....	35,880	64,668	74,595	82,150	90,2906	78,928	95,960	100,750	65,6	85,800	85,460	68,798	99,945	122,200	152,9144	67,0197	161,880	196,596	125,500	125,680																					
Écartement longitudinal intérieur entre les parois du foyer et son enveloppe.....	0,080	0,076	0,071	0,076	0,080	0,075	0,075	0,086	0,075	0,077	0,073	0,080	0,076	0,075	0,080	0,086	0,080	0,100	0,095	0,075																					
Écartement transversal entre les parois du foyer et son enveloppe.....	0,080	0,076	0,076	0,076	0,075	0,075	0,070	0,077	0,077	0,077	0,076	0,080	0,106	0,075	0,075	0,086	0,080	0,100	0,060	0,065																					
Diamètre intérieur du corps cylindrique.....	1,115	1,098	0,950	1,036	1,235	1,150	1,238	1,200	1,060	1,146	1,048	1,258	1,500	1,534	1,116	1,354	1,500	1,258	1,265																						
Longueur du corps cylindrique.....	2,454	2,745	3,695	3,410	3,475	3,250	3,565	3,500	3,845	3,100	3,840	3,940	4,050	4,175	3,240	4,655	4,885	4,560	3,572																						
Épaisseur de la tôle.....	0,010	0,010	0,010	0,012	0,0125	0,012	0,011	0,012	0,010	0,012	0,011	0,011	0,013	0,015	0,010	0,015	0,015	0,015	0,0125																						
Épaisseur de la tôle de la boîte à feu extérieure.....	0,010	0,010	0,012	0,012	0,015	0,015	0,012	0,012	0,011	0,012	0,012	0,012	0,015	0,012	0,012	0,015	0,015	0,015	0,0125																						
Épaisseur du cuivre du ciel des parois latérales du foyer.....	0,010	0,012	0,012	0,012	0,015	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,015	0,012	0,015	0,015	0,015	0,012																						
Épaisseur du cuivre de la plaque des tubes.....	0,020	0,020	0,025	0,022	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025																						

N. B. Tous les nombres donnés dans ce tableau sont exprimés en mètres pour les longueurs, en mètres carrés pour les surfaces, en mètres cubes pour les volumes, et en kilogrammes pour les poids.

NATURE des machines.....	VOYAGEURS.							GRANDS Cyl. ext.
	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	
	OUEST Versailles	OUEST Hayre.	EST.	LYON.	LYON.	ORLÉANS	MIDI.	
INDICATION du chemin sur lequel la machine circule.....	SHARP. 1840.	BEDDONS. 1845.	CAILL. 1847.	CAILL. 1847.	CAILL. 1856.	POLONCEAU. 1854.	GOEUX. 1856.	NORD. 1847.
NOm du constructeur.....	1	2	3	4	5	6	7	8
DATE de la construction.....								
<i>Surface de chauffe</i> (suite).								
Volume d'eau contenu dans la chau- dière, avec 0.10° au-dessus du foyer.....	1,815	1,671	1,942	2,500	2,710	2,012	2,780	2,600
Volume de vapeur dans la chau- dière, avec 0.10° d'eau au-dessus du foyer.....	1,195	1,150	0,890	0,928	1,515	1,045	1,164	0,850
Distance de l'arête supérieure du corps cylindrique au-dessus du niveau de l'eau avec 0.10° d'eau sur le foyer.....	0,550	0,260	0,185	0,206	0,535	0,515	0,521	0,245
<i>Boîte à fumée.</i>								
Longueur intérieure.....	0,654	0,670	0,775	0,625	0,966	0,912	0,822	0,675
Largeur transversale.....	1,250	1,270	1,154	1,244	1,235	1,150	1,238	1,200
Hauteur.....	1,740	1,440	1,154	1,200	1,150	1,238	1,200	1,200
Capacité (moins le volume des cy- lindres).....	0,969	1,108	0,724	0,754	1,1030	0,948	0,860	0,785
Épaisseur de la plaque des fûtes.	0,016	0,018	0,017	0,017	0,018	0,017	0,015	0,018
Épaisseur des parois latérales....	0,007	0,006	0,008	0,008	0,010	0,008	0,011	0,010
<i>Cheminée.</i>								
Diamètre intérieur.....	0,550	0,550	0,550	0,580	0,400	0,400	0,400	0,400
Épaisseur de la tôle.....	0,005	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005
Hauteur au-dessus de la boîte à fumée.....	1,680	1,875	1,710	1,820	1,900	1,940	1,650	1,650
<i>Alimentation.</i>								
Diamètre du plongeur.....	0,045	0,0508	0,105	0,050	0,052	0,050	0,055	0,064
Course de	0,464	0,558	0,116	0,600	0,600	0,600	0,500	0,500
Volume engendré par coup de piston.	0,00075	0,00115	0,001004	0,001274	0,001274	0,00117	0,00153	0,00116
Diamètre cylindrique du siège des clapets.....	0,058	0,050	0,052	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Lévé des soupapes.....	0,024	0,015	0,012	0,016	0,015	0,008	0,015	0,012
Section d'écoulement par les sou- papes.....	0,00115	0,00119	0,001356	0,00176	0,00157	0,0010	0,0020	0,0015
Diamètre du tuyau d'aspiration...	0,040	0,054	0,052	0,052	0,054	0,055	0,055	0,064
Diamètre du tuyau de refoulement.	0,040	0,050	0,052	0,052	0,054	0,055	0,050	0,064
Épaisseur des tuyaux.....	0,004	0,0025	0,0025	0,025	0,005	0,0025	0,005	0,005

(a) Ces boîtes à fumée sont cylindriques et forment le prolongement de la chaudière. La dimension indiquée est

MIXTES.	MARCHANDISES.						SERVICE DES GARES	MARCHANDISES Lugertb.			MIXTES. Kugertb.	MACHINES fortes rampes.
	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.		Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.		
	OUEST. CAVE. 1848.	LYON (Rhône). GOEUX. 1849.	ORLÉANS (Mammouth). STEPHANSON 1845.	LYON. CAIL. 1850.	ORLÉANS POLONCEAU. 1855.	BOUR- DONNAIS. OULLAIS. 1858.		ORLÉANS POLONCEAU. 1855.	MIDI. HESSLER. 1855.	NORD. CREBOT. 1856.		
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2,556	2,000	1,905	2,750	3,630	3,841	2,200	4,270	4,825	5,080	2,555		
1,586	1,540	1,760	1,620	1,530	1,518	0,815	1,685	2,035	1,490	1,645		
0,270	0,526	0,536	0,555	0,515	0,540	0,266	0,520	0,400	0,557	0,575		
0,822	0,762	0,724	0,850	0,865	0,911	0,735	0,785	0,792	0,711	0,700		
1,254	1,504	1,170	1,085	1,238	1,235	1,480	1,116	1,564	1,155	1,275		
1,000	0,898	0,716	0,950	1,1757	1,262	0,7177	1,150	1,538	0,875	0,895		
0,015	0,016	0,015	0,017	0,018	0,018	0,015	0,020	0,020	0,018	0,017		
0,008	0,006	0,010	0,011	0,010	0,010	0,008	0,015	0,015	0,015	0,0125		
0,550	0,400	0,555	0,400	0,420	0,430	0,540	0,430	0,440	0,400	0,400		
0,005	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004	0,004		
1,705	1,917	1,610	1,710	1,800	2,090	1,980	1,875	1,417	1,406	1,550		
0,105	0,032	0,105	0,035	0,110	0,060	0,045	0,138	0,072	0,090	0,060		
0,116	0,360	0,114	0,600	0,120	0,650	0,460	0,126	0,660	0,220	0,480		
0,001004	0,00118	0,001003	0,001423	0,00114	0,001837	0,00075	0,00195	0,00506	0,0014	0,001556		
0,045	0,048	0,051	0,050	0,060	0,065	0,044	0,060	0,060	0,060	0,041		
0,012	0,012	0,018	0,015	0,008	0,010	0,015	0,015	0,014	0,014	0,015		
0,0011	0,00118	0,00166	0,00144	0,0010	0,00304	0,0015	0,0028	0,0018	0,0018	0,0014		
0,045	0,052	0,048	0,052	0,055	0,059	0,045	0,060	0,054	0,054	0,054		
0,005	0,0025	0,0050	0,0025	0,005	0,005	0,0025	0,005	0,005	0,005	0,005		

est le diamètre.

NATURE des machines.....	VOYAGEURS.							CLIMATO
	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	
	QUEST Versailles	QUEST Havre.	EST. CAEN. 1847.	LYON. CAEN. 1847.	LYON. CAEN. 1856.	ORLÉANS POISSONNIER. 1854.	MIDI. GOUV. 1856.	
INDICATION du chemin sur lequel la machine circule.....	SHARP. 1840.	HUBBARD. 1845.	CAEN. 1847.	CAEN. 1847.	CAEN. 1856.	POISSONNIER. 1854.	GOUV. 1856.	NORD. CAEN. 1847.
NOM du constructeur.....	1	2	3	4	5	6	7	8
DATE de la construction.....	1	2	3	4	5	6	7	8
DISTRIBUTION DE LA VAPEUR.								
<i>Prise de vapeur.</i>								
Section d'ouvert. maxima du régul.	0,0136	0,02038	0,01154	0,0132	0,0131	0,0100	0,0198	0,0152
Diamètre intérieur du tuyau de prise de vapeur.....	0,120	0,165	0,130	0,125	0,140	0,145	0,145	0,145
Epais. du tuyau de prise de vapeur	0,004	0,004	(a) 0,012	0,005	0,002	0,0015	0,0015	0,0015
Section du tuyau de prise de vapeur.	0,01151	0,02138	0,01227	0,01227	0,0154	0,0168	0,0163	0,0163
Diam. des tuyaux allant à chaque cyl.	0,090	0,114	0,100	0,100	0,100	0,100	0,120	0,120
Section des tuyaux allant à chaque cylindre.....	0,6065	0,0102	0,0078	0,0078	0,00785	0,0078	0,0115	0,0115
<i>Echappement.</i>								
Diamètre du tuyau d'échappement.	0,100	0,152	0,120	0,140	0,140	0,140	0,160	0,160
Section du tuyau d'échappement..	0,00783	0,018145	0,0115	0,0154	0,0131	0,0135	0,0201	0,0200
Sect. maxima de la tuyère d'échapp.	0,0100	0,0695	0,0152	0,0160	0,0115	0,0230	0,0212	0,0227
Sect. minima de la tuyère d'échapp.	0,0040	0,0093	0,0051	0,0051	0,0051	0,0041	0,0043	0,0025
Longueur totale de la conduite d'échappement depuis le tiroir..	1,930	1,550	2,000	2,100	2,150	1,775	1,380	2,125
Epaisseur des tuyaux d'échappem.	0,004	0,0023	0,005	0,005	0,0023	0,0023	0,005	0,005
<i>Mécanisme.</i>								
Angle d'avance.....	30°	54°	50°	50°	120°	50°	Av. 13° Arr. 23°	15°
Rayon d'excentricité.....	0,048	0,055	0,058	0,058	0,085	0,060	0,063	0,059
Course maxima des tiroirs.....	0,115	0,110	0,116	0,116	0,116	0,118	0,130	0,114
Lumière d'admission.	Longueur.....	0,192	0,205	0,250	0,250	0,310	0,280	0,290
	Largeur.....	0,044	0,032	0,040	0,040	0,042	0,055	0,040
	Section.....	0,00856	0,00976	0,010	0,012	0,0150	0,0098	0,020
Longueur développée du conduit d'admission.....	0,250	0,350	0,370	0,380	0,380	0,400	0,320	0,400
Volume du conduit d'admission..	0,00200	0,00383	0,0057	0,0045	0,0050	0,004	0,00384	0,006
Lumière d'échappement.	Longueur.....	0,192	0,205	0,250	0,250	0,310	0,280	0,290
	Largeur.....	0,070	0,055	0,076	0,080	0,080	0,085	0,075
	Section.....	0,01544	0,01678	0,019	0,021	0,0248	0,0182	0,0223
Tiroir.	Longueur.....	0,260	0,335	0,314	0,338	0,370	0,350	0,260
	Largeur.....	0,270	0,221	0,214	0,248	0,260	0,243	0,254
	Surface.....	0,0702	0,0786	0,0786	0,08578	0,0962	0,0808	0,0914

(a) En fonte; pour les autres, tôle ou cuivre.

MACHINES p ^o fortes rampes.	MARCHANDISES.										SERVICE DES GARES		MARCHANDISES Engerth.		MIXTE Engerth.	
	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. int.	Cyl. ext.	
	QUEST. CAEN. 1847.	LYON (Rhône). GOUV. 1849.	ORLÉANS (Barnabé) 1845.	LYON. CAEN. 1850.	ORLÉANS. POISSONNIER. 1855.	BOURBONNAIS. OLLINS. 1858.	ORLÉANS. POISSONNIER. 1855.	MIDI. RESSLEN. 1855.	NORD. CRENSOT. 1856.	NORD. 1858.	NORD. GOUV. 1858.	NORD. 1858.	NORD. 1858.	NORD. 1858.	NORD. 1858.	
0,0152	0,0154	0,0152	0,01508	0,0100	0,0140	0,0100	0,0194	0,0177	0,0107	0,0198						
0,125	0,138	0,125	0,140	0,145	0,150	0,145	0,165	0,145	0,144	0,144						
0,005	(b) 0,010	0,005	0,0025	0,0015	0,0025	0,0015	0,0015	0,0025	0,002	0,002						
0,01227	0,01327	0,01227	0,01227	0,0168	0,0168	0,0174	0,0165	0,0209	0,0168	0,0163						
0,100	(c) 0,158	0,100	0,100	0,100	0,110	0,100	0,135	0,110	0,100	0,104						
0,0078	0,0093	0,0078	0,0078	0,0078	0,0093	0,0078	0,0145	0,0093	0,0078	0,0085						
0,115	0,230	0,130	0,150	0,140	0,150	0,130	0,105	0,100	0,126	0,200						
0,01058	0,0144	0,0152	0,0152	0,0153	0,0174	0,0115	0,0087	0,0188	0,0202	0,0200						
0,01058	0,01573	0,0120	0,01530	0,0250	0,0151	0,0136	0,0208	0,0158	0,0173	0,0150						
0,0023	0,00472	0,0023	0,00386	0,0041	0,0040	0,0026	0,0075	0,0050	0,0040	0,0050						
1,500	1,882	1,500	1,900	1,950	2,450	2,100	2,113	2,500	1,500	2,800						
0,005	0,008	0,0023	(b) 0,010	0,0023	0,0023	0,0023	0,005	(b) 0,012	(b) 0,012	0,006						
30°	35°	30°	14°	30°	12° 19'	17° 28'	30°	15° 25'	30°	17°						
0,058	0,065	0,057	0,074	0,060	0,073	0,060	0,057	0,070	0,045	0,058						
0,116	0,103	0,116	0,115	0,119	0,160	0,050	0,114	0,140	0,090	0,116						
0,250	0,303	0,254	0,310	0,280	0,340	0,250	0,313	0,330	0,250	0,250						
0,040	0,046	0,052	0,042	0,055	0,040	0,053	0,045	0,045	0,051	0,076						
0,010	0,014	0,00812	0,0150	0,0038	0,0156	0,0038	0,0142	0,0137	0,0112	0,0090						
0,273	0,310	0,320	0,340	0,463	0,450	0,520	0,530	0,383	0,303	0,312						
0,00275	0,00454	0,0026	0,0044	0,00453	0,00383	0,0028	0,00469	0,00604	0,005104	0,002972						
0,250	0,303	0,251	0,310	0,280	0,340	0,250	0,313	0,330	0,250	0,250						
0,073	0,096	0,062	0,084	0,065	0,073	0,060	0,090	0,090	0,085	0,076						
0,01875	0,026	0,016	0,026	0,0182	0,0213	0,01623	0,0283	0,0313	0,0360	0,0190						
	0,368	0,315	0,370	0,350	0,410	0,381	0,420	0,420	0,312	0,312						
	0,262	0,240	0,236	0,243	0,250	0,219	0,2403	0,230	0,288	0,240						
	0,0936	0,0781	0,09472	0,0808	0,1023	0,0837	0,1069	0,1213	0,1209	0,0777						

(a) seul tuyau pour les deux cylindres.

NATURE des machines.....	VOYAGEURS.								GRANDS	MIXTES.	MARCHANDISES.					SERVICE DES GARES	MARCHANDISES Engendr.			MIXTE Engendr.	MACHINES p ^r fortes roues.		
	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.			Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.		Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.			Cyl. int.	Cyl. int.
	OUEST Versailles	OUEST Havre.	EST. CAIL.	LYON. CAIL.	LYON. CAIL.	ORLÉANS POLOYCAL. 1855.	MIDI. GOVIN. 1856.	NORD. CAIL. 1841.			OUEST. CAIL. 1849.	LYON (Rhône). GOVIN. 1849.	ORLÉANS (Hamm) STEPHENSON 1845.	LYON. CAIL. 1850.	ORLÉANS POLOYCAL. 1855.		BOURBONNAIS. GOILLIN. 1858.	ORLÉANS POLOYCAL. 1855.	MIDI. KESSELER. 1855.			NORD. CHEFOT. 1856.	NORD. GOVIN. 1856.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
MÉCANISME DE TRANSMISSION.																							
Ecartement d'axe en axe des cylindres.....	0,713	1,885	1,888	1,882	1,900	1,840	1,870	1,820	0,730	0,670	0,750	0,690	1,790	2,000	2,000	2,100	2,040	0,736	2,000				
Inclinaison des cylindres.....	0°	7° 45'	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	3°	7° 15'	7°	6° 58'	0°	5° 16'	0°	0°	1/12°	0°				
Diamètre d°.....	0,530	0,5386	0,580	0,580	0,400	0,400	0,420	0,460	0,480	0,400	0,380	0,420	0,420	0,450	0,400	0,480	0,500	0,420	0,480				
Longueur totale intérieure.....	0,600	0,686	0,692	0,732	0,752	0,740	0,704	0,823	0,680	0,692	0,730	0,756	0,790	0,805	0,690	0,747	0,815	0,686	0,512				
Course du piston.....	0,460	0,535	0,560	0,600	0,600	0,600	0,569	0,520	0,560	0,600	0,610	0,600	0,630	0,650	0,460	0,610	0,650	0,560	0,480				
Liberté des cylindres (moyenne).....	0,010	"	0,011	0,011	0,012	0,008	0,005	"	"	0,014	"	"	0,008	0,0078	0,008	0,0090	0,010	0,007	0,006				
Longueur de la bielle.....	1,425	1,592	1,405	1,610	2,000	1,800	2,000	2,310	1,400	1,670	1,460	1,530	1,630	1,735	1,530	2,040	2,400	2,320	2,140				
Diamètre du bouton de manivelle.....	0,150	0,089	0,085	0,085	0,090	0,100	0,125	0,125	0,100	0,165	0,138	0,176	0,180	0,100	0,100	0,120	0,150	0,180	0,125				
Longueur du bouton de manivelle.....	0,090	0,101	0,100	0,100	0,100	0,150	0,130	0,130	0,100	0,096	0,105	0,102	0,150	0,110	0,090	0,100	0,140	0,118	0,125				
CHASSIS ET SUPPORTS.																							
<i>Chassis.</i>																							
Ecartement des longerons d'axe en axe.....	1,810	2,000	1,226	1,210	1,265	1,250	1,281	1,218	1,225	1,260	1,220	1,226	1,800	1,238	1,215	1,260	1,230	1,285	1,212				
Hauteur des longerons.....	0,240	0,216	0,200	0,200	0,200	0,200	0,220	0,220	0,200	0,260	0,205	0,220	0,240	0,280	0,290	0,300	0,260	0,270	0,300				
Épaisseur de la tôle.....	1/10,010	1/10,010	0,030	0,030	0,025	0,030	0,036	0,025	0,050	0,026	0,032	0,030	0,050	0,028	0,050	0,050	0,050	0,025	0,022				
Hauteur de l'axe des tampons au-dessus du rail.....	0,880	0,950	0,990	0,990	0,980	1,050	1,000	0,970	1,000	0,980	1,060	0,930	1,050	0,980	1,050	1,000	0,970	0,970	0,970				
Ecartement des tampons d'axe en axe.....	1,800	1,776	1,710	1,710	1,740	1,740	1,727	1,727	1,710	1,710	1,855	1,710	1,740	1,740	1,740	1,727	1,727	1,727	1,727				
<i>Ressorts.</i>																							
1 ^{er} Ressort (avant)	Longueur.....	0,778	0,711	0,930	0,930	0,880	0,760	1,000	0,910	0,710	0,930	0,860	0,940	0,880	0,760	0,900	1,000	1,000	1,000				
	Largeur.....	0,100	0,088	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090				
	Hauteur au milieu.....	0,418	0,402	0,0738	0,179	0,152	0,140	0,120	0,150	0,180	0,140	0,156	0,120	0,144	0,152	0,100	0,152	0,180	0,144				
	Flèche sous charge.....	0,100	0,0283	0,080	0,070	0,030	0,0425	"	0,172	0,028	0,060	0,068	0,045	0,0577	0,020	0,0346	0,025	0,025	"				
2 ^e Ressort.	Longueur.....	0,778	0,762	0,930	0,930	0,880	0,760	1,000	0,910	0,710	0,930	0,860	0,940	0,880	1,220	0,900	1,300	1,000	1,097				
	Largeur.....	0,100	0,088	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090				
	Hauteur au milieu.....	0,125	0,112	0,0738	0,179	0,152	0,120	0,180	0,115	0,130	0,140	0,162	0,120	0,120	0,152	0,210	0,152	0,235	0,144				
	Flèche sous charge.....	0,100	0,0888	0,075	0,075	0,040	0,0565	"	0,115	0,025	0,060	0,064	0,045	0,050	0,050	0,0542	0,025	"	"				

(1) Chaque longeron se compose de 2 plaques de tôle avec bande de bois intermédiaire épaisse de 0,07 à 0,08.

NATURE des machines.....	VOYAGEURS.								MIXTES.	MARCHANDISES.					SERVICE DES GARES.	MARCHANDISES Engerth.		MIXTE Egerth.	MACHINES p ^o forces rampes.	
	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. int.		Cyl. int.	Cyl. int.	Cyl. ext.	Cyl. ext.	Cyl. ext.		Cyl. ext.	Cyl. int.			Cyl. ext.
	WEST Versailles 1840.	WEST Havre. 1845.	EST. CALL. 1847.	LYON. CALL. 1847.	LYON. CALL. 1856.	ORLÉANS. POLYCLÉ. 1854.	MIDI. CALL. 1855.	ORLÉANS. CALL. 1849.		ORLÉANS. STEPHENSON 1845.	LYON. CALL. 1850.	ORLÉANS. POLYCLÉ. 1855.	BOURBONNAIS. OULLIUS. 1858.	ORLÉANS. POLYCLÉ. 1855.		MIDI. KESSLER. 1855.	NORD. CRUZEUX. 1856.			NORD. 1855.
<i>Essieux (suite).</i>																				
4 ^e Essieu. { Diamètre de la fusée.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,470	0			
{ Longueur de la fusée.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,250	0				
{ Diamètre à la portée du calage.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,200	0				
{ Diamètre au milieu.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,160	0				
Ecartement intérieur des roues.....	1,560	1,565	1,555	1,560	1,560	1,565	1,565	1,565	1,565	1,560	1,565	1,560	1,565	1,565	1,565	1,565	1,565			
Ecartement intérieur des rails de la voie.....	1,440	1,450	1,440	1,450	1,450	1,450	1,441	1,445	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,447	1,445	1,445	1,445			
Ecartement des essieux extrêmes fixes.....	5,444	5,658	5,015	4,015	4,190	4,320	4,700	4,800	5,440	4,250	5,350	5,455	5,520	5,570	2,900	4,700	5,350			
Ecartement des essieux fixes. { du 1 ^{er} au 2 ^e	1,824	1,778	1,615	1,800	2,280	1,940	2,280	2,300	1,740	2,215	1,790	1,845	1,990	1,970	1,400	2,280	1,500			
{ du 2 ^e au 3 ^e	1,620	1,880	1,400	2,215	2,210	2,280	2,420	2,300	1,700	2,015	1,560	1,590	1,550	1,400	1,200	2,420	1,500			
{ du 3 ^e au 4 ^e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,550	0			
<i>Bandages.</i>																				
Largeur.....	0,155	0,150	0,140	0,140	0,140	0,155	0,155	0,155	0,140	0,140	0,155	0,140	0,155	0,155	0,155	(1) 0,150	(1) 0,150			
Épaisseur au milieu.....	0,040	0,040	0,050	0,050	0,055	0,065	0,065	0,065	0,080	0,050	0,065	0,080	0,065	0,050	0,065	0,055	0,055			
Saillie du boudin.....	0,025	0,050	0,040	0,040	0,040	0,055	0,050	0,055	0,025	0,030	0,040	0,050	0,055	0,030	0,052	(1) 0,025	(1) 0,025			
<i>Poids.</i>																				
Poids d'un essieu monté. { 1 ^{er} (avant).....	>	1,256	1,080	1,500	1,686	1,480	1,185	1,707	1,105	1,880	1,712	1,676	1,630	1,842	1,478	1,907	1,914			
{ 2 ^e	>	1,700	2,115	2,600	2,926	2,611	5,212	1,554	2,524	2,155	2,156	2,000	2,028	2,146	1,628	2,550	1,828			
{ 3 ^e	>	1,025	1,080	1,500	1,570	1,565	1,481	5,185	3,112	1,085	1,712	1,676	1,650	2,100	1,678	1,907	2,378			
{ 4 ^e	>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,885			
Machine chargée en ordre de marche. { 1 ^{er} (avant).....	>	5,261	6,400	8,087	12,540	9,200	>	10,200	6,100	7,217	5,812	7,049	9,905	10,875	7,925	11,660	10,100			
{ 2 ^e	>	6,500	8,200	9,512	12,640	12,550	>	7,000	8,400	8,904	8,456	7,049	10,700	10,795	9,585	12,050	9,200			
{ 3 ^e	>	1,501	5,055	2,614	3,580	3,750	>	10,000	3,000	4,175	8,047	7,019	10,015	10,608	9,555	11,660	9,900			
{ 4 ^e	>	0	0	0	0	0	>	0	0	0	0	0	0	0	0	11,100	0			
Poids total de la machine en ordre de marche.....	>	17,026	25,926	25,215	28,560	25,520	>	27,200	25,041	27,426	22,225	26,500	30,710	32,278	26,825	(3) 25,150	(3) 22,800			
Poids total de la machine vide.....	>	14,851	20,875	22,600	25,098	25,054	>	24,600	20,500	22,080	20,160	22,700	26,805	27,480	22,212	46,650	45,770			

1^{re} dimension s'applique au 3^e essieu.
 2^e et 3^e ressorts communs à ces deux essieux s'appuient par des bras inégaux.
 4^e poids et les suivants s'appliquent à la machine et au tender réunis.

Tenders accompagnant les machines

DÉSIGNATION de la machine attelée au tender et de leur service...	VOYAGEURS.							CLASSE.
	OUEST Versailles	OUEST. Bédouin. 1845.	EST. Graffenh. 1847.	LYON. Farcot. 1847.	LYON. Graffenh. 1857.	ORLÉANS. POUSSAU. 1854.	MIDI. Gouin. 1856.	
INDICATION du chemin.....	1	2	3	4	5	6	7	8
NOM du constructeur.....	SHARP. 1840.	BÉDOUIN. 1845.	GRAFFENHARDT. 1847.	FARCOT. 1847.	GRAFFENHARDT. 1857.	POUSSAU. 1854.	GOUIN. 1856.	CUL. 1854.
DATE de la construction.....	1	2	3	4	5	6	7	8
TENDER.								
Volume d'eau complet.....	2,514	3,600	5,000		5,500	5,100	4,700	1,000
Poids du combustible.....	800	1,900	2,000		2,000	3,533	3,600	1,000
Poids vide avec agrès.....		3,150	8,589		11,020	7,500	5,500	1,000
Poids plein.....		10,650	15,589		18,500	16,533	16,800	1,000
Nombre de paires de roues.....		2	2		2	2	2	2
Ecartement intérieur des roues.....	1,565	1,555			1,560	1,565	1,565	1,565
Ecartement des essieux extrêmes.....	1,980	2,500			2,500	2,500	2,500	2,500
Ecartement des essieux.....	1,980	2,500			2,500	2,500	2,500	2,500
Diamètre des roues.....	0	0			0	0	0	0
Diam. de la fusée.....	0,990	1,010			1,100	1,197	1,000	1,000
Long. de la fusée.....	0,159	0,159			0,150	0,092	0,100	0,100
Diam. à la portée de calage.....	0,121	0,155			0,180	0,150	0,140	0,140
Diam. au milieu.....	0,100	0,115			0,140	0,115	0,120	0,115
Longueur.....	0,970	0,930			0,700	0,980	1,000	1,000
Largeur.....	0,930	0,075			0,090	0,075	0,070	0,090
Hauteur au milieu.....	ar. 0,030	0,100			0,108	0,099	0,132	0,132
Flèche sous charge.....	ar. 0,100	0,110				0,097	0,090	0
BANDAGES.								
Largeur.....		0,127	0,155		0,140	0,135	0,140	0,135
Épaisseur au milieu.....		0,050	0,055		0,060	0,055	0,055	0,055
Saillie du boudin.....		0,050	0,055		0,055	0,050	0,052	0,053
POIDS.								
Poids d'un essieu monté.....		990			1,500	0,981		1,430
Poids sur chaque essieu (en ordre de marche).....		4,770			8,500	8,927		8,600
1 ^{er} (avant).....		3,160			10,000	8,527		9,100
2 ^e		0			0	0		0
3 ^e		0			0	0		0
Épaisseur fond.....	0,007	0,005	0,005		0,006	0,005	0,005	0,006
dessus.....	0,036	0,005	0,004		0,004	0,004	0,004	0,004
de la tôle de la caisse à eau.....	0,035	0,005	0,004		0,005	0,004	0,004	0,004
pourtour.....								
Longeron Hauteur.....		Int. 0,22 Ext. 0,59	0,250		0,500	0,265	0,215	0,200
de la chaudière.....		0,095	(*) 0,150		0,095	0,095	0,095	0,095
Épaisseur.....								
Longueur totale du tender.....		4,250	4,800		6,070	5,745	5,800	5,700

* Longeron en bois. — 1 Cette dimension s'applique à l'essieu du milieu. — 2 Les coisces à eau sont placées deux toles avec bois intermédiaire. — 3 Ce longeron est à deux flasques sans bois.

tableaux précédents.

MIXTES.	MARCHANDISES.					SERVICE DES GARES	MARCHANDISES Engerth.			MIXTE Engerth.	MACHINES pr fortes rampes.
	ORLÉANS.	LYON.	ORLÉANS.	ORLÉANS.	BOURBONNAIS.		ORLÉANS.	MIDI.	NORD.		
ORLÉANS.	LYON.	ORLÉANS.	ORLÉANS.	BOURBONNAIS.	ORLÉANS.	MIDI.	NORD.	NORD.	NORD.	NORD.	
STEPHENS. 1845.	FARCOT. 1847.	POUSSAU. 1855.	ORLÉANS. 1856.	POUSSAU. 1855.	ORLÉANS. 1855.	ORLÉANS. 1855.	ORLÉANS. 1855.	ORLÉANS. 1855.	ORLÉANS. 1855.	ORLÉANS. 1855.	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000	5,400	6,500	2,000	5,660	8,500	5,000	5,000	
4,870	1,750	4,870	12,516	7,700	9,150	530	1,400	2,000	1,670	4,000	
14,870	10,740	20,146	16,655	18,060					11,770		
4,570	2,500	4,320	6,000								

LIVRE V.

CONDUITE DES MACHINES LOCOMOTIVES.

Le mode de construction des machines locomotives, comme disposition d'ensemble et comme exécution des pièces, exerce une influence très-marquée sur l'économie et sur la régularité du service ; mais les soins de toute nature donnés aux machines, soit au repos soit en marche, ont une influence non moins importante. On ne pourrait négliger sans inconvénient les plus petits détails dans une exploitation aussi vaste que celle d'un chemin de fer ; on y doit avoir des principes établis, des règles tracées pour toutes les parties du service. La *conduite des machines* devait donc occuper une assez large place dans notre travail ; nous ferons connaître d'abord l'organisation générale du service, nous indiquerons ensuite les soins de toute nature à donner aux machines prêtes à partir, en marche, sortant de service ou stationnant dans les dépôts, entre deux départs ; les règles à suivre pour tirer de la machine en marche de meilleur parti possible, ou ce qu'on pourrait appeler la *Théorie du Mécanicien*.

CHAPITRE I.

Installation générale du Service.

§ 1^{er}. — Personnel du Service de la traction.

Le service de la traction ou de la locomotion n'est qu'une branche du service du *matériel* qui forme, dans la plupart des exploitations, une des principales *divisions* de la direction générale

de l'exploitation. C'est à tort que, dans quelque cas, on a cru pouvoir isoler la traction, ou le service des machines en activité, des ateliers de réparation ; il est indispensable que tout le service soit centralisé fortement entre les mains d'un seul ingénieur ou d'un entrepreneur, qui est à la fois responsable de l'achat des matières, de la conduite des trains et de l'entretien du matériel de traction et de transport.

Suivant l'importance du service général du matériel, il se subdivise plus ou moins entre plusieurs chefs de service placés sous les ordres directs de l'ingénieur en chef du matériel. Sur les grandes lignes, il est généralement nécessaire d'avoir un chef de service spécial pour la traction, qui surveille le service des machines en état d'activité, qui leur fait donner tous les soins d'entretien courant, indique la nature des réparations ou des modifications à effectuer. Le service des ateliers étant subdivisé entre les points principaux de la ligne et se rattachant au service local de la traction, il convient que le chef de la traction qui, du reste, a par nécessité une grande mobilité, soit, autant que possible, le suppléant désigné de l'ingénieur en chef du matériel et qu'à ce titre, indépendamment de l'autorité qu'il est appelé à exercer accidentellement, il ait un droit de contrôle incontestable sur tous les travaux d'ateliers qui se font en dehors de sa direction immédiate.

Le chef du service de la traction doit avoir sous la main un bureau, composé d'un petit nombre d'employés, pour la correspondance, la transmission des ordres, le dépouillement des rapports, la statistique des parcours, la comptabilité du personnel et celle de l'emploi des matières de consommation.

Lorsque l'étendue de la ligne est considérable, il peut devenir nécessaire de la fractionner en sections et de confier, dans chaque section, le service du matériel à un ingénieur détaché qui correspond directement avec l'ingénieur en chef du matériel, s'il est chargé d'un grand atelier de réparation, mais qui, dans tous les cas, est sous les ordres directs du chef de la traction pour tout ce qui concerne le service des machines.

Le chef de la traction a sous ses ordres des *chefs de dépôt* qui

sont préposés, dans chacune des stations où il existe un dépôt de machines, à la direction de tous les détails du service; ils commandent les *mécaniciens* et les *chauffeurs*, les *ouvriers* préposés à l'entretien courant des machines, les ouvriers de toute nature affectés au nettoyage, au chargement du coke, etc. Lorsque l'importance du dépôt le justifie, on adjoint au chef de dépôt, sous ses ordres, un *sous-chef de dépôt*; lorsqu'au contraire un dépôt n'a qu'une importance très-secondaire et ne comprend, par exemple, qu'une machine de secours, on le confie quelquefois à un mécanicien de choix, qu'on relève de temps en temps.

Le chef de la traction a en outre, sous ses ordres, des employés spéciaux préposés à la réception, au magasinage et à la distribution du coke. Il peut encore avoir à sa disposition un certain nombre d'inspecteurs chargés de surveiller la comptabilité et la tenue des dépôts et des magasins de coke, l'exécution des règlements et des instructions et tous les détails de service; il est essentiel que leur action se borne à un contrôle très-sérieux, mais sans intervention personnelle dans les actes des agents responsables qu'ils ont à surveiller et non à diriger. Il convient, en outre, d'avoir un inspecteur principal ou plus exactement, pour éviter toute équivoque, un sous-chef de traction, choisi parmi les mécaniciens ou chefs d'atelier instruits et expérimentés, qui surveille l'état des machines, le travail des dépôts, la conduite, etc., et qui ait toute l'autorité nécessaire pour faire des observations, donner des conseils et, au besoin, des ordres à tous les employés du service actif.

Cette organisation varie d'ailleurs suivant les Compagnies et la distribution des lignes qui forment le réseau de chacune d'elles. — Nous citerons comme exemple spécial l'organisation du chemin de fer d'Orléans.

Le service de la traction est centralisé dans les mains d'un ingénieur en chef ayant sous ses ordres: un ingénieur de la traction, chef du service actif; un ingénieur des wagons; un chef de service central comprenant le service des approvisionnements, la comptabilité, la statistique, en un mot l'administration.

L'ingénieur de la traction, chef du service actif, a sous son au-

torité deux chefs de traction dirigeant le service des machines, l'un d'Orléans sur le centre, l'autre d'Orléans sur Nantes et Bordeaux. Ces agents résidant à Orléans et à Tours, surveillent aussi la direction des ateliers de réparation existant dans ces localités.

L'ingénieur, chef du service actif, réside à Paris; il n'a d'autres employés qu'un secrétaire chargé de recevoir, décacheter la correspondance, dépouiller les rapports, faire les extraits nécessaires et renvoyer au service central toutes les pièces dont, après avoir pris communication, le chef de service n'a plus besoin.

L'ingénieur de la traction surveille la direction de l'atelier central à Ivry, lequel est placé sous les ordres d'un chef d'atelier.

Le personnel des ateliers et des dépôts de la ligne est également placé sous ses ordres.

Enfin, un certain nombre d'agents, anciens machinistes expérimentés élevés au rang de chefs machinistes et ayant pour mission de former les jeunes machinistes, de suivre, surveiller et contrôler le travail des machinistes en marche, sont placés sous les ordres des chefs de traction et sous l'autorité de l'ingénieur, chef du service actif.

L'ingénieur, chef du service des wagons, a dans ses attributions la direction du personnel employé, dans les différents points du réseau, à la visite et à l'entretien des voitures et wagons.

Il dirige également le personnel du service de route, les graisseurs, chargés, indépendamment de leur travail de graissage, de tenir le relevé de la marche des trains.

De même que l'ingénieur du service actif, l'ingénieur du service des wagons n'a d'autres employés que ceux nécessaires au dépouillement de la correspondance, aux extraits à établir, et il en renvoie, après les avoir vues, au service central toutes les pièces servant alors à établir la comptabilité ou la statistique.

Le service central, placé sous la direction immédiate de l'ingénieur en chef, est confié à un chef de service. Il comprend: les approvisionnements, la comptabilité, la statistique.

Les achats sont faits par l'ingénieur en chef. Les marchandises de toute nature sont reçues par des garde-magasins, à Paris, Or-

léans et Tours; elles sont emmagasinées et délivrées par ces agents, qui en tiennent compte d'entrée et de sortie, et en justifient l'emploi au chef de la comptabilité duquel ils relèvent.

Les feuilles de paye des employés et ouvriers, dressées par les chefs de dépôt et d'atelier, sont envoyées à la comptabilité, où elles sont vérifiées, et tous les documents relatifs aux dépenses ou nécessaires à l'établissement de statistique sont adressés par tous les agents au chef de la comptabilité, chargé seul de l'établissement de la comptabilité.

Enfin un certain nombre d'inspecteurs attachés au service central reçoivent de l'ingénieur en chef des ordres spéciaux déterminant leurs fonctions.

Le personnel des dépôts comprend des *mécaniciens, élèves-mécaniciens, chauffeurs, ouvriers de l'entretien, nettoyeurs et laveurs, chargeurs de coke*; dans les grands dépôts où le service des machines prend son point de départ, on place, indépendamment du sous-chef de dépôt, un *distributeur* des matières d'usage journalier, autres que le combustible; cet agent est employé en même temps à tenir les écritures de statistique et de comptabilité; il est enfin nécessaire d'y placer un *chauffeur de nuit* qui surveille, pendant la nuit, les machines allumées, qui prépare et allume les machines qui doivent prendre le service le matin. Ce dernier agent est pris parmi les anciens chauffeurs; sa responsabilité étant très-grande, il faut que ce soit un homme connaissant bien les machines, ayant beaucoup d'ordre, très-soigneux et d'une conduite irréprochable.

Deux systèmes peuvent être adoptés pour l'entretien des machines dans les dépôts, entretien qui peut être plus ou moins complet et empiéter plus ou moins sur la grande réparation qui se fait toujours dans les ateliers proprement dits. On peut faire entretenir les machines par les mécaniciens eux-mêmes, de manière à ne les faire rentrer qu'à de longs intervalles dans les ateliers spéciaux de réparation, ou bien on peut ne faire des mécaniciens que de simple conducteurs, prenant leur machiné au moment du départ et la quittant au moment de l'arrivée; chaque grand dépôt comprend, dans ce dernier cas, un certain nombre

d'ouvriers, et spécialement de monteurs, qui entretiennent les machines sur les indications fournies par les mécaniciens qui les montent et sous la direction et la surveillance du chef de dépôt.

Dans le dernier système, les hommes que l'on prend comme mécaniciens, n'ont besoin d'aucune instruction préalable; on peut les choisir parmi les chauffeurs qui se sont fait remarquer par leur intelligence, leurs soins dans tous les détails du service, et par leur bonne conduite et qui obtiennent ainsi une amélioration considérable dans leur position; dans ce cas, ils sont généralement plus attachés que d'autres à leur profession, et se soumettent plus facilement à toutes les nécessités du service. L'avantage de ce système est de réduire au moindre nombre possible le personnel des mécaniciens et des chauffeurs, qui forme toujours un des gros articles du chapitre des frais de traction. La main-d'œuvre d'entretien, lorsque celui-ci est fait par des ouvriers d'ateliers, est moins coûteuse, mais il reste à examiner si la somme totale de cette main-d'œuvre et le résultat obtenu ne compensent pas largement cet avantage.

Dans le premier système, les mécaniciens doivent être choisis parmi les monteurs les plus habiles; non-seulement ils font à leur machine, dès qu'ils ont un instant, les petites réparations qui peuvent prévenir l'usure rapide des pièces, mais encore ils complètent cet entretien de tous les instants par les travaux périodiques qu'ils peuvent exécuter pendant les jours de repos; s'il y a lieu, ils cessent de marcher pendant quelques jours et exécutent toutes les réparations nécessaires pour remettre leur machine en bon état de service et se font aider, pour cela, par quelques ouvriers spéciaux, attachés à cet effet au dépôt, mais qui travaillent alors sous leur direction et non plus seulement sur leurs indications.

Ce système, lorsqu'on ne l'exagère pas, en faisant exécuter aux mécaniciens des réparations de trop longue haleine et qui exigeraient en réalité la rentrée aux ateliers, présente des avantages incontestables sur le précédent; il n'apporte pas, du reste, un obstacle absolu à l'avancement des simples chauffeurs, car, s'ils ont toutes les qualités nécessaires pour devenir bons conduc-

teurs et lorsqu'ils ont acquis, par un long exercice, la connaissance intime de toutes les pièces de la machine, ils peuvent, par un stage assez court aux ateliers, se mettre en état de réparer la machine qu'ils sont déjà très-aptés à conduire. Les réparations sont faites à temps, souvent dans l'intervalle des voyages qui forment le service d'une journée, sans que le mal puisse s'aggraver prématurément et occasionner des dégradations importantes ou des ruptures de pièces. Lorsque les machines rentrent au dépôt, les réparations sont faites par celui qui en connaît le mieux la nécessité, qui fait celles qui sont urgentes et qui, plus que tout autre, est intéressé à ce qu'elles soient promptement et bien faites et à ce qu'il ne soit pas fait de travaux inutiles, car il ne lui est pas indifférent que la machine reste plus ou moins longtemps hors de service. En effet, les primes d'économie de combustible, de régularité de marche, etc., ne l'intéressent pas seulement à avoir une machine en très-bon état pour faire le bon service qui devient pour lui une source de profits, il est également intéressé à ne perdre aucun tour de service et à éviter tous les chômages; il arrive à maintenir pendant longtemps sa machine en service, il s'y attache et finit par en obtenir des résultats remarquables comme économie et durée de service. Dans l'autre système, au contraire, les machines ne sont entretenues que par intervalle; elles sont généralement au-dessous de ce qu'on peut appeler un bon état de service; les réparations partielles durent plus longtemps et sont en somme plus coûteuses; les réparations générales sont plus fréquentes.

Cette question n'est pas, du reste, susceptible d'une solution absolue; il est nécessaire de tenir compte de la nature du service de chaque ligne. Sur les chemins de fer d'une faible longueur où il n'y a pas lieu d'établir de séparation entre l'atelier et le dépôt, où la moindre importance de l'un et de l'autre permet d'exercer une grande surveillance, le deuxième système peut devenir avantageux; il le devient surtout si la somme des parcours que peut faire une machine dans une journée ne représente pas un travail trop considérable pour le mécanicien, de telle sorte que celui-ci

puisse sans inconvénient rester presque constamment sur pied. Au contraire, sur les lignes où les machines effectuent, chaque jour de service, un parcours considérable et où il est nécessaire, pour le conducteur et pour la machine elle-même, de couper le service par des temps de repos très-multipliés, il convient de faire réparer la machine par le mécanicien, car, sans cela, il resterait oisif pendant une grande partie du temps. C'est avec des considérations de cette nature qu'on devra, dans chaque cas particulier, mettre en balance l'avantage du moindre coût de la main-d'œuvre des réparations pour le premier système et pour le second l'avantage de réduire, par l'entretien de tous les instants, par la connaissance exacte qu'a le mécanicien du travail à faire, par l'intérêt qu'il a de maintenir la machine dans le meilleur état, en ne faisant cependant que le strict nécessaire, l'avantage de ne pas faire passer incessamment les hommes d'une machine sur l'autre, enfin de les attacher à leur machine.

Nous avons dit que lorsque les mécaniciens devaient réparer leur machine, il fallait les faire aider par quelques monteurs; trois de ces ouvriers auxiliaires, pour un dépôt qui comprend quinze à seize mécaniciens, sont en général suffisants lorsqu'on est à proximité d'un grand atelier où l'on peut porter les pièces à la forge; dans le cas contraire, il faut en plus, selon l'importance du dépôt, un forgeron et un ou deux ouvriers qui sachent tourner, et travailler la chaudronnerie de cuivre.

La profession de mécanicien, au point où l'exploitation des chemins de fer est arrivée maintenant, n'est pas plus dangereuse que beaucoup d'autres professions industrielles; elle l'est d'autant moins que les hommes qui l'embrassent sont plus prudents, car, le plus souvent, ils ne sont que les premières victimes de leur négligence ou de leur imprévoyance; elle n'a rien de pénible et de fatigant pour des hommes d'une bonne constitution; elle est largement rétribuée et n'exige qu'un court apprentissage, elle est par suite très-recherchée; on peut donc choisir dans les ateliers les ouvriers les plus distingués et composer ainsi un très-bon personnel.

Il est indispensable de choisir pour mécaniciens des hommes froids, courageux, ayant de la présence d'esprit et un bon jugement, car c'est sur eux, surtout, que repose la sécurité des nombreux voyageurs que porte chaque convoi. De plus, pour bien conduire la machine locomotive, il faut au mécanicien un esprit observateur, de l'intelligence et de l'activité. Enfin, la docilité et un dévouement complet, qui fait ne jamais reculer devant aucune des exigences du service, sont également indispensables ; nous ne parlons pas ici de la sobriété et de la régularité de conduite, qui sont des conditions d'une nécessité absolue.

Les ouvriers qui remplissent les conditions que nous venons d'énumérer doivent être seuls admis comme mécaniciens ; ils ne doivent eux-mêmes demander leur admission que s'ils se sentent une vocation bien éprouvée.

Les chauffeurs doivent présenter les même garanties morales et physiques que les mécaniciens ; ils doivent être robustes pour résister à la fatigue du service dont ils sont chargés ; il convient, en général, de choisir les chauffeurs parmi les manœuvres les plus laborieux, les plus actifs et les plus dociles du dépôt, qui cherchent ainsi à se faire une profession avantageuse et assurée.

§ 2. — Dépôts de machines.

Lorsqu'une ligne de chemin de fer a une certaine importance, il est nécessaire de séparer les machines en service des machines en réparation ; indépendamment des ateliers réservés à la construction et aux réparations ; il est nécessaire de disposer des locaux et des emplacements spéciaux pour mettre en dépôt et remettre les machines qui sont en état de service, pour les nettoyer, les allumer, les alimenter, etc. On distingue deux espèces de *dépôts de machines* : les dépôts principaux qui fournissent les machines destinées à la conduite des trains, et les dépôts intermédiaires où s'alimentent ces machines à leur passage et où, en général, sont placées les machines de réserve et de renfort qui font le service de *machines-pilotes*.

1° **DÉPÔTS PRINCIPAUX.** — Les dépôts principaux contiennent : les bâtiments de remisage des machines et tenders, une série de voies de service et de stationnement pour les machines en feu, une ou plusieurs plaques tournantes de grande dimension, sur lesquelles on peut tourner ensemble ou séparément chaque machine et son tender, des réservoirs d'alimentation avec leurs accessoires et des emplacements pour les approvisionnements de combustible. Ces diverses parties d'un dépôt doivent être disposées de manière à ce qu'on puisse facilement déplacer une machine sans déranger les autres, et groupées de telle sorte que la surveillance soit facile et que les manœuvres à bras de machines éteintes ne se fassent que très-rarement.

Les bâtiments de remisage doivent remplir les conditions suivantes :

1° Qu'on puisse facilement entrer ou sortir une machine sans en déplacer d'autres, la manœuvre d'une machine qui n'est pas en feu exigeant beaucoup de temps, employant beaucoup d'hommes et entraînant des frais assez considérables, si elle se renouvelle souvent ;

2° Que la fumée et la vapeur qui se produisent lorsqu'on allume une machine ou qu'on la met en mouvement, trouvent des issues faciles et des écoulements bien ménagés, afin qu'elles ne gênent pas les ouvriers et qu'elles n'oxydent pas les pièces des autres machines ;

3° Qu'il y ait assez de jour en tous sens pour que l'on puisse facilement travailler sous les machines et dans toutes leurs parties ;

4° Que l'espace libre autour de chaque machine soit suffisant pour que l'on puisse y déposer les pièces qu'on démonte, sans que cela gêne les mouvements ou le travail des machines voisines ;

5° Qu'en hiver on puisse maintenir dans la remise une température suffisante pour empêcher la congélation de l'eau.

Ces conditions ont été remplies de diverses manières. On a construit des bâtiments rectangulaires contenant une série de

voies parallèles, desservies par une ligne de plaques tournantes ou par un chariot qui peut amener les machines sur chacune de ces voies. Un chariot placé à l'extérieur ne permet de remiser qu'une seule rangée de machines, et si on le place à l'intérieur, il en dessert deux ; mais il devient gênant pour le service, à cause de la force qu'il nécessite si on ne prend pas le parti d'affecter à la manœuvre une machine à vapeur ; il oblige, en outre, à couvrir un espace considérable non utilisé. Le chariot est du reste d'une manœuvre lente et pénible. Cependant, il est souvent préféré à une rangée de plaques tournantes dont l'établissement est fort coûteux.

En plaçant deux ou trois voies dans la longueur d'un bâtiment rectangulaire et les coupant par des lignes transversales de plaques tournantes, distantes entre elles de deux longueurs de machines, on arrive à entrer ou sortir chacune des machines indépendamment les unes des autres, et cette disposition est plus économique que la précédente comme dépense journalière de main-d'œuvre. Mais, dans l'un comme dans l'autre cas, on est obligé de séparer la machine du tender et de faire des manœuvres à bras assez importantes pour chaque entrée et pour chaque sortie de machines.

Il est plus avantageux, lorsque le terrain le permet, de disposer le bâtiment de telle sorte que les voies, au nombre de deux ou trois, soient réunies à l'extérieur du dépôt par des changements de voie ; lorsqu'il devient nécessaire de déplacer des machines, on peut le faire sans main-d'œuvre et sans séparer le tender de la machine, au moyen de la machine-pilote ou de l'une des machines en stationnement.

On adopte très-fréquemment une disposition dans laquelle les voies sont placées de manière à converger vers un seul et même point, qui sert de centre à une plate-forme unique, sur laquelle on tourne à la fois ou séparément la machine et le tender. Cette plate-forme sert non-seulement à faire passer les machines sur les voies de la remise, mais aussi à tourner toutes les machines qui arrivent d'un autre dépôt et qui doivent repartir dans la journée. Dans ce système, on a exécuté deux dispositions de bâtiments, les uns de forme polygonale ou circulaire, au centre desquels se

trouve la plaque tournante, et les autres de forme demi-circulaire, n'ayant que la profondeur d'une locomotive avec son tender, et laissant la plaque tournante au dehors. Ces derniers, dans lesquels la surveillance est peut-être un peu moins facile que dans les précédents, ont l'avantage de ne couvrir que l'espace réellement nécessaire au remisage ; quelquefois, cependant, on a compris la plaque tournante sous la même couverture que les voies de remisage.

Depuis quelques années, on fait assez généralement usage de plates-formes tournantes de 10^m à 12^m de diamètre qui servent à tourner à la fois la machine et le tender ; un engrenage manœuvré à bras d'hommes ou par une petite machine à vapeur les met en mouvement. Ces appareils sont très-utiles et doivent être appliqués partout où il y a un mouvement assez important de machines.

Lorsque les voies de la remise sont établies sur un plan parallèle, on place la grande plate-forme tournante sur la voie qui leur sert de tronc commun, ou mieux sur une voie isolée, en communication par des changements de voie avec les voies de stationnement.

Un point important dans la construction des remises de machines, c'est de ne pas restreindre les dimensions d'après celles en longueur, largeur et hauteur de machines existantes. Lorsqu'on construit, il faut, au contraire, réserver de larges espaces sur les voies de remisage et dans tous les passages, ainsi qu'autour des chariots ou plaques tournantes. Faut de cette prévoyance, il arrive aujourd'hui, sur beaucoup de chemins de fer, que dans les études du matériel, on ne peut plus profiter des progrès de l'art et satisfaire aux besoins de l'exploitation, comme on le ferait si on n'était pas entravé par les conditions fâcheuses dans lesquelles les constructions ont été établies. Ce que nous disons là des remises s'applique également aux travaux d'art, stations et plaques tournantes.

Les remises de locomotives doivent recevoir le jour par de larges et nombreuses fenêtres placées sur toutes leurs faces et descendant assez bas pour éclairer l'intérieur des fosses sur les-

quelles on place les machines. Il convient également que des châssis vitrés soient placés dans la couverture du bâtiment. Pour l'aérage, on ménage, en général, des ouvertures sous les sablières et au sommet du comble, de manière à établir un tirage qui enlève facilement la fumée. Ces ouvertures doivent pouvoir se fermer à volonté pour que le froid ne gêne pas le travail des ouvriers et ne fasse pas geler l'eau des machines pendant la saison d'hiver. Mais cet aérage ne suffit pas, quelque bien établi qu'il soit, surtout lorsqu'on chauffe les machines à la houille; chaque jour on allume plusieurs machines et on voit bientôt les pièces de celles qui restent en réserve dans la remise se couvrir de rouille. Cette insuffisance se manifeste surtout pendant l'hiver, car on ne peut pas laisser les portes de la remise ouvertes en permanence. C'est pour cela que dans la plupart des dépôts on a établi, au-dessus de chaque emplacement de machine, une cheminée terminée par une base mobile en forme de cône renversé, qui s'abaisse sur la cheminée des machines qu'on allume, et qui non-seulement empêche la fumée de se répandre à l'intérieur, mais encore accélère très-sensiblement leur mise en vapeur.

Sur l'emplacement que doit occuper chaque machine dans un dépôt, on établit, comme nous l'avons déjà dit, une fosse qui permet de passer facilement sous la machine et d'y travailler. La profondeur de ces fosses au-dessous du niveau des rails varie de 0^m 70 à 0^m 90; le fond est pavé et incliné vers un caniveau de dégagement, pour l'écoulement des eaux des machines et des tenders que l'on vide ou qu'on lave.

La charpente des remises de locomotives se fait à peu près indifféremment en fer ou en bois. Le bois ne paraît présenter aucun danger, surtout lorsqu'on emploie les cheminées d'allumage dont nous avons parlé. Mais, pour la couverture, on doit éviter l'emploi du zinc ou de la tôle, métaux qui sont promptement corrodés par la condensation de la vapeur d'eau et des vapeurs acides qui se produisent en grande abondance dans toutes les remises, surtout pendant l'allumage.

Après de chaque fosse il convient de placer des établis d'ajusteurs avec étaux et des armoires pour les outils et vêtements des machinistes et ouvriers attachés au dépôt.

2^o VOIES DE SERVICE. — Indépendamment de la voie conduisant à la remise, il doit y avoir dans tout dépôt principal une voie d'une certaine étendue, sur laquelle les machines puissent aller et venir pour s'alimenter, sans devenir une cause d'accidents, et des voies de stationnement communiquant par leurs deux extrémités avec la voie de service, sur lesquelles viennent se placer les machines qui attendent leur tour de départ. La disposition de ces voies doit être telle que chaque machine puisse, sans déranger les autres, prendre le train qu'elle doit conduire ou atteindre la voie destinée à l'alimentation.

Enfin, une voie spéciale, communiquant avec la remise sur laquelle sont placées des fosses, doit être réservée pour le lavage des machines. Sur une voie peu fréquentée par les machines en service, on dispose une grue puissante qui sert à lever les machines, pour visiter ou changer les coussinets des boîtes à graisse, remplacer les essieux montés, etc. Sur le chemin d'Orléans on a appliqué dans les dépôts le système de grues roulantes introduit pour la première fois, en 1846, dans les ateliers du chemin de fer du Nord. Dans les rotondes, trois ou quatre fosses sont pourvues de rails additionnels sur lesquels roulent la grue, qui trouve d'ailleurs sur la plaque tournante des voies à l'écartement voulu pour sa manœuvre.

La bonne disposition des voies d'un dépôt a une très-grande importance; car une machine bien préparée peut, si elle n'est pas dérangée, rester pendant un très-long temps en feu (huit et dix heures) sans consommation sensible de combustible; tandis que, si elle est obligée de faire des manœuvres, le feu s'active par la marche et, lorsque la machine est revenue en place, le combustible se consomme en produisant de la vapeur en pure perte; la chaudière s'épuise et bientôt il faut alimenter; ce qui augmente la consommation et reproduit les mêmes conditions fâcheuses; en outre,

ces mouvements peuvent forcer d'autres machines à se déplacer et devenir ainsi une source indéfinie de consommation et de dépense. Nous reviendrons sur ce point en parlant de la conduite des machines et nous indiquerons quelle influence considérable peut avoir, sur la marche et la consommation, la manière de tenir les machines en feu dans les dépôts. On doit encore chercher à éviter les manœuvres de machines, à cause des accidents qui peuvent en résulter et aussi parce qu'elles font perdre du temps aux nettoyeurs et aux mécaniciens qui pourraient avoir des travaux à faire à leur propre machine.

Des fosses nombreuses doivent être établies sur les voies de stationnement des locomotives, afin de permettre de les visiter, de les réparer et de les nettoyer. Ces fosses doivent être semblables à celles que nous avons indiquées pour les remises. Les fosses placées sur des voies que l'on doit souvent traverser la nuit occasionnent fréquemment des accidents, si on ne prend pas des précautions pour prévenir les personnes qui pourraient y tomber. Pour cela, sur quelques chemins, on a mis à côté de chacune d'elles des barrières de 1^m de hauteur ; mais ce moyen est assez gênant, lorsqu'il n'y a pas beaucoup d'espace entre chaque voie. En plaçant, dès que la nuit arrive, dans l'intérieur de chacune d'elles de petites lampes, on les rend parfaitement visibles et on remplit le même but.

3° MAGASIN DE COMBUSTIBLE. — Les terrains destinés aux dépôts de coke et de houille doivent être aussi rapprochés que possible des voies de stationnement des locomotives. Lorsque l'espace le permet, et surtout aux points où il faut donner du combustible aux machines à leur passage, il est très-avantageux d'établir auprès de la voie où la machine stationne, une large estrade sur laquelle on pose les paniers et d'où on peut directement les décharger dans les tenders. On obtient, par ce moyen, une accélération très-sensible du service et une économie de main-d'œuvre. Les magasins principaux doivent être placés aux points d'arrêt ou de départ des machines ; cependant, il peut y avoir lieu de déroger à cette règle

si les arrivages se font à un point intermédiaire, afin d'éviter des transbordements et des manutentions qui sont toujours une source de dépense et de déchet.

Dans quelques cas exceptionnels il convient de recevoir, pour une partie de la consommation journalière, le coke chargé au lieu de fabrication dans des sacs ou des paniers, et d'éviter ainsi le transvasement ; mais le plus souvent, le transport se fait en vrac sur des bateaux ou sur des wagons et il est nécessaire, au fur et à mesure du déchargement, d'empiler le coke en tas. On le reprend ensuite au moyen d'une pelle à grille, de manière à séparer le menu produit par le transport et la manutention, et on le charge dans des sacs ou des paniers qui sont déposés à proximité des voies de stationnement des machines. L'emploi des sacs ou des paniers est nécessaire pour mesurer le combustible délivré aux mécaniciens et pour faciliter le transport qui se fait à dos d'homme et le déchargement sur le tender ; ces récipients ont une capacité d'un hectolitre et pèsent de 40 à 50 kilog., suivant la nature du combustible. On emploie des sacs en forte toile de chanvre ou des paniers en osier ; sur plusieurs réseaux on trouve un avantage marqué à faire usage de paniers en rotin ; cette matière ne s'altère pas par l'action de l'humidité et permet d'établir des paniers d'une plus grande durée. Les mêmes observations s'appliquent à la consommation de la houille.

4° PRISES D'EAU. — Ainsi que nous l'avons fait ressortir, on ne saurait attacher trop d'importance au choix de l'eau d'alimentation des machines et on ne doit pas reculer devant des dépenses, même importantes, pour se procurer une eau qui ne donne que peu ou point de dépôts adhérents aux parois des chaudières. Il y aurait dans presque tous les cas avantage à purifier par des procédés chimiques les eaux incrustantes.

Pour élever l'eau, on doit choisir des appareils simples, solides et peu susceptibles de dérangements, afin que le service ne souffre pas d'interruption. Dans les dépôts qui sont installés pour le ravitaillement des locomotives, on se sert de machines à vapeur ; aux

stations où l'on ne prend de l'eau qu'accidentellement, on se sert de pompes à bras; l'eau est recueillie dans des réservoirs d'une capacité assez grande que l'on maintient toujours pleins, de telle sorte qu'ils puissent suffire au service de plusieurs jours, en cas de réparations à faire aux pompes ou à la machine; pour les machines à vapeur, d'ailleurs, on doit s'arranger pour faire faire le service par un chauffeur ambulant, qui soigne plusieurs appareils et qui remplit périodiquement les réservoirs.

Les réservoirs sont généralement construits en tôle; il convient de les diviser de manière à pouvoir les vider, les nettoyer et les réparer sans les mettre complètement à sec. Cette division permet aussi de chauffer l'eau qu'on fournit aux locomotives, et elle pourrait être utilisée pour la précipitation préalable des matières incrustantes. L'élévation des réservoirs au-dessus du sol doit être telle que le remplissage des tenders se fasse rapidement, sans qu'on soit obligé de donner de trop fortes dimensions aux conduites ou robinets; elle doit, par conséquent, être en rapport avec la distance du point où stationnent les machines pour s'alimenter. Il est nécessaire d'entourer les réservoirs et de les couvrir pour empêcher l'action de la gelée; cette précaution est également indispensable lorsqu'on veut chauffer l'eau d'une manière permanente.

L'eau est distribuée aux tenders au moyen d'appareils qu'on désigne sous le nom de *grues hydrauliques*, qui sont en nombre variable suivant l'importance du dépôt; il convient, dans tous les cas, qu'une de ces grues soit placée sur la voie par laquelle doit nécessairement passer toute machine qui va se mettre sur les voies de stationnement, afin que le tender étant rempli de suite, on puisse y envoyer l'excès de vapeur de la chaudière ou alimenter dès que le besoin s'en fera sentir. On profite, lorsqu'on le peut, de la position des réservoirs eux-mêmes pour y appliquer des tuyaux de prise d'eau qui remplacent les grues hydrauliques.

On emploie avec avantage depuis quelque temps des *grues réservoirs*, formées par un cylindre vertical de la contenance du tender et supporté par une colonne, affectant la disposition d'une

grue hydraulique ordinaire; le réservoir se vide en 2 ou 3 minutes au plus et se remplit ensuite par la différence des niveaux en un temps plus ou moins long.

Indépendamment de l'alimentation des machines, les réservoirs doivent encore fournir de l'eau : 1° dans les remises de locomotives à proximité de chaque machine, pour remplir les chaudières avant l'allumage; 2° auprès de la fosse de lavage des machines; 3° à une ou plusieurs bornes-fontaines pour le service et pour les hommes du dépôt. Enfin, il convient de profiter de l'élévation des réservoirs pour disposer quelques conduites en cas d'incendie qui serait fort grave dans un dépôt, attendu qu'il faut très-longtemps pour sortir et mettre hors de danger des machines éteintes.

On se sert ordinairement, pour le lavage des chaudières, d'une pompe manœuvrée à bras ou du jet produit par un réservoir spécial placé à une grande hauteur. Mais, lorsque la machine qui monte l'eau est dans le dépôt même, on peut s'en servir pour le lavage des machines, en lui faisant mettre en mouvement une pompe susceptible de produire un jet très-puissant.

Les prises d'eau, à moins de sources d'une qualité rare, doivent être en général placées sur les cours d'eau. A défaut de bonne eau, si l'on veut purifier des eaux *calcaires*, on peut imiter ce qui s'est fait avec succès au chemin de fer d'Orléans, à la station d'Aigrefeuille, pour améliorer une eau de nature détestable. L'eau est engagée dans un premier réservoir et une petite pompe supplémentaire introduit, à chaque coup de piston de la pompe à eau, une quantité convenable d'eau de chaux qui se règle par la course même de la pompe. La pompe reprend l'eau de ce réservoir et la fait passer sur un filtre en laine qui retient tous les précipités; l'eau arrive dans le réservoir proprement dit dans un état de pureté remarquable.

5° DISPOSITIONS ACCESSOIRES. — Un dépôt doit comprendre : 1° un petit magasin destiné aux matières de consommation courante, telles que huile, suif, chanvre, minium, etc.; 2° un bureau pour le distributeur qui tient la comptabilité du dépôt et

délivre les matières autres que le coke; 3° un bureau pour le chef de dépôt; 4° un corps de garde pour les hommes de service, avec un lit de camp et des appareils de chauffage, disposés de manière à sécher les vêtements mouillés; 5° un dortoir pour les mécaniciens et les chauffeurs qui, venant d'autres dépôts, passent la nuit hors du lieu de leur résidence, ou pour ceux qui ont besoin de repos après avoir passé la nuit au service et qu'il est souvent utile de ne pas laisser s'éloigner; 6° des lieux d'aissance pour les employés et pour les ouvriers et manœuvres; 7° un logement pour le chef et le sous-chef de dépôt dont la présence, à toute heure du jour et de la nuit, est nécessaire, afin que le service ne soit jamais en souffrance.

6° DÉPÔTS INTERMÉDIAIRES. — Ces dépôts, destinés à alimenter les machines à leur passage et à entretenir en feu des machines de secours, sont des établissements fort simples. Sur une voie s'embranchant sur les voies principales, on place un bâtiment contenant : une remise pour deux locomotives de réserve et un wagon de secours; un bureau et un logement pour le mécanicien chef de dépôt; un corps de garde pour les hommes de service; un petit magasin d'objets de consommation courante, soit pour les besoins du dépôt, soit pour ceux des machines de passage; des réservoirs et des appareils d'alimentation auprès de chacune des voies sur lesquelles les machines s'arrêtent.

Sur la voie de la remise, et en dehors des bâtiments, on place une plaque tournante destinée à tourner les machines suivant le sens dans lequel elles doivent marcher, Il convient que cette plaque tournante permette de manœuvrer en même temps la machine et le tender, afin de ne pas retarder le départ du secours et de ne pas exiger la présence d'un trop nombreux personnel.

Des fosses doivent être établies dans le bâtiment pour le service de la *machine-pilote* et sur les voies principales, au point où s'arrêtent les machines conduisant les trains, pour qu'on puisse y piquer le feu ou les visiter et au besoin les réparer. C'est auprès

de ces fosses que sont placées les grues hydrauliques ou les réservoirs eux-mêmes, qui servent à remplir le tender pendant que la machine est en stationnement. Il est très-important, dans les dépôts intermédiaires surtout, que l'écoulement de l'eau soit très-rapide et se fasse par des tuyaux ayant 13 à 14 centimètres au moins de diamètre intérieur, afin que les trains ne soient pas retardés; les réservoirs doivent être, en outre, à une hauteur de 4 à 5^m.

Dans ces dépôts, lorsqu'on puise l'eau sur place, il est très-avantageux de placer la machine à vapeur auprès du point de stationnement de la *machine-pilote*, car alors, en détachant un des raccords du tender et au moyen d'un conduit de vapeur pouvant mettre en communication le tuyau de la pompe de la machine locomotive avec la machine fixe, on fournit à celle-ci la vapeur au moyen du tuyau réchauffeur. On ne se sert donc que rarement du fourneau de la machine fixe, dans le cas seulement où la machine-pilote part au secours, sans que les réservoirs soient remplis; il en résulte une économie importante, car la machine locomotive ne consomme pas sensiblement plus que si on la tenait en feu sans l'utiliser.

La position des dépôts intermédiaires doit être déterminée par la qualité des eaux que l'on trouve sur différents points de la ligne, car, nous ne saurions trop le répéter, il est indispensable d'employer de l'eau de bonne qualité. Il est bien entendu que cette règle ne peut s'appliquer que dans certaines limites fixées par la distance à laisser entre les machines de secours et par la capacité qu'on peut donner au tender. Mais il est bien rare que ces limites ne soient pas assez étendues pour qu'on ne puisse pas rencontrer des eaux convenables. On aurait, du reste, beaucoup plus de facilité dans le choix des eaux si, au lieu d'arrêter à l'avance une seule et même dimension pour les caisses à eau de tender, comme on l'a fait jusqu'ici pour tous les chemins et pour toutes les machines, on donnait à ces caisses des dimensions en rapport avec la position des points d'alimentation.

Nous mentionnerons seulement, à titre historique, les galets d'alimentation que l'on disposait souvent dans les dépôts; ils

étaient utiles lorsque la plupart des machines étaient à roues indépendantes; cette installation était employée pour alimenter dans les gares, sans faire courir les machines sur les voies de service,

7° CHAUFFAGE DE L'EAU D'ALIMENTATION. — On peut chauffer l'eau d'alimentation des locomotives, en hiver seulement, pour l'empêcher de geler dans les réservoirs et dans les conduites, ou bien on peut, dans un but d'économie, la chauffer pendant toute l'année. Dans le premier cas, les appareils à établir sont simples et peu dispendieux. Dans le second, il faut des appareils plus puissants et plus complets. Il convient donc d'examiner l'importance que peut avoir l'alimentation à l'eau chaude. Dans les machines fixes sans condensation, on a quelquefois tenté l'essai de l'alimentation à l'eau chauffée dans les réservoirs. Mais comme les chaudières peuvent avoir de très-grandes dimensions, qu'on a un tirage par une haute cheminée, que l'on peut absorber ainsi la presque totalité de la chaleur produite par un combustible d'ailleurs moins cher que le coke et que, de plus, l'appareil de chauffage de l'eau ne sert qu'à une seule machine, il en est résulté que l'utilité qu'on a retirée de ce procédé n'a pas été assez importante pour compenser la dépense et la complication qui en résultaient, lorsqu'on établissait un foyer spécial, et on a dû se borner à chauffer au moyen de la vapeur perdue, ce qui est du reste le moyen le plus rationnel.

Dans les machines locomotives, au contraire, le point important est de produire la plus grande quantité de vapeur avec la plus petite chaudière possible, et cela avec un combustible très-cher, en laissant échapper les gaz chauds à une très-haute température et en employant une partie du travail moteur de la machine à produire la chaleur nécessaire. C'est donc avec une grande dépense que, dans l'intérieur même des chaudières, on amène l'eau froide à la température de 50 ou 60°; en outre, l'alimentation à l'eau froide, dans une chaudière contenant peu d'eau, gêne beaucoup la marche. De plus, lorsqu'on alimente habituellement à l'eau froide, il arrive très-souvent, en hiver, qu'on se laisse surprendre

et que les tuyaux et les pompes gèlent en route; il est même inévitable, pendant un hiver rigoureux, qu'on n'éprouve pas des accidents de ce genre si l'on n'a pas pris les mesures nécessaires pour chauffer l'eau des réservoirs.

Il y a donc un avantage incontestable à fournir aux locomotives de l'eau chauffée, au moyen d'appareils spéciaux, dans lesquels on emploie du combustible de qualité inférieure ou les déchets des magasins de coke, et qui permettent d'utiliser toute la chaleur produite. C'est surtout dans les dépôts intermédiaires qu'il importe de chauffer les réservoirs, parce qu'au départ la machine peut échauffer son eau à l'aide de la vapeur qu'elle produit en stationnement et qu'en route cela devient à peu près impossible.

Lorsqu'on veut chauffer l'eau, il convient de n'opérer que sur une faible quantité à la fois et d'avoir pour cela de petits réservoirs spéciaux qui sont, à volonté et à mesure qu'ils s'épuisent, mis en communication avec le réservoir principal. L'eau s'échauffe alors au moyen d'appareils à circulation continue, disposés pour cette opération. On y brûle de menu coke ou des briquettes faites avec le poussier de coke et les déchets de combustibles de tout genre. Si la machine qui sert à monter l'eau se trouve auprès des réservoirs, on peut avantageusement utiliser sa chaudière pour le chauffage de l'eau, en la mettant en communication avec le réservoir par deux tuyaux armés de robinets, disposés de manière à lui permettre de travailler à circulation continue. Lorsque la machine ne travaille pas, on ouvre le robinet du tuyau inférieur et, la chaudière remplie, on ouvre le second; puis, lorsque l'on veut produire de la vapeur, on ferme les robinets, on vide une portion de l'eau, et la machine peut reprendre sa marche. Dans les dépôts où on chauffe l'eau, il faut rapprocher autant que possible les réservoirs des points où ils doivent fournir l'eau, attendu qu'il y a refroidissement de l'eau contenue dans les conduites, ainsi que de celle qui y passe.

§ 3. — Outillage des machines.

L'outillage des machines peut se subdiviser en quatre catégories :

1° LES OUTILS POUR LA CONDUITE DU FOYER comprennent :

La pelle à coke, pelle longue, étroite, à bords relevés, surtout à l'arrière, disposée pour entrer facilement par la porte étroite du foyer et pour contenir à la fois le plus de combustible possible, afin que le mécanicien ne soit pas obligé d'ouvrir un trop grand nombre de fois la porte, par laquelle s'introduit de l'air froid nuisible à la production de vapeur, et aussi afin que dans le mouvement de la machine, le chauffeur, en chargeant rapidement, ne laisse pas tomber le combustible s'il vient à heurter la porte du foyer. Cette pelle est montée sur un manche très-court terminé par une poignée, pour faciliter le chargement du combustible sur les côtés du foyer; elle s'use rapidement et il convient qu'elle soit aciérée.

Le pique-feu, tringle en fer de 2 mètres de longueur et de 0^m 020 de diamètre, terminée d'un bout par une poignée, de l'autre par une pointe plate formant crochet.

La lance, outil semblable au précédent, mais dans lequel le crochet est remplacé par une pointe en fer de flèche; il sert à jeter le feu, et pour cela on l'introduit par la porte à travers la couche de combustible, jusqu'au-dessous de la grille; en plaçant la pointe triangulaire au travers de la grille et tirant à soi, on fait tomber les barreaux et le feu.

La tringle de la lance doit avoir au moins 0^m 025 de diamètre, car, lorsqu'il faut jeter le feu en route, le foyer chargé, il est difficile de percer la couche de combustible; la tringle rougissant se tord facilement si elle est faible, et l'opération devenant alors impossible, on est exposé par suite à brûler la chaudière.

La tringle à nettoyer les tubes, la raclette et le balai. Après un certain temps de marche, il se dépose à l'entrée des tubes, de la cendre qui se calcine, devient adhérente à la plaque tubulaire et peut boucher presque complètement les orifices. Pour l'enlever, lorsqu'elle est abondante et qu'elle adhère fortement, on passe sur toute la plaque une lame de tôle, fixée à une tringle en fer, qui en enlève la majeure partie. Si quelques tubes sont encore bouchés, on les nettoie avec une petite tringle aplatie et recourbée au bout,

pouvant entrer dans le tube; puis on frotte avec un balai de bouillie un peu fort. Souvent le balai seul suffit pour ce nettoyage si on l'emploie plusieurs fois dans un trajet.

La tringle à tamponner les tubes, ou forte tige de fer de 0^m 025 de diamètre et de 2^m de longueur, terminée par une douille qui reçoit le tampon en bois que l'on emploie pour boucher les tubes qui viennent à crever en marche.

Tous les outils que nous venons d'indiquer, ainsi qu'une forte pince en fer, doivent être placés sur le tender à portée du mécanicien.

2° BURETTES ET BIDONS. — Pour le graissage des machines, il faut au mécanicien une provision de 4 à 5 kilogrammes d'huile dans un bidon solidement construit, afin que les secousses de la machine ne le fassent pas fuir. On se sert, pour graisser, de deux burettes à long col et d'une sorte de casserole en cuivre rouge, qui peut aller au feu, pour fondre le suif.

3° AGRÈS. — Ils comprennent :

Un cric à double noix et un *vérin* sur patin en fer, avec vis de rappel, permettant de donner un mouvement de translation à l'objet soulevé. Ces deux appareils doivent être assez puissants pour permettre de soulever l'une des extrémités d'une machine.

Une grosse pince en fer :

Une prolonge ou corde de 15^m de longueur et de 0^m 05 de diamètre, armée à chacune de ses extrémités d'un crochet en fer. La prolonge sert à la manœuvre des trains lorsque la machine est sur une voie et le train sur l'autre, ou lorsqu'une machine doit faire passer un train sur une voie d'embranchement sans s'y engager elle-même. Souvent on se contente de déposer des prolonges aux stations et sur des machines de secours.

4° CAISSE A OUTILS. — Une caisse contenant tous les objets dont le mécanicien peut avoir besoin pour l'entretien de la machine en service et pour le cas d'accident, savoir :

Des clefs à fourchette, dont le nombre varie selon celui des

types d'érous existant pour une machine et qui est de six environ;

Une clef à douille pour les pistons;

Une clef anglaise;

Trois limes bêtardes;

Deux burins;

Deux bédanes en acier fondu;

Deux chasse-clavette;

Deux chasse-goupille;

Un tournevis;

Une petite pince;

Une petite tenaille;

Une masse en fer de 3 kilog. pour chasser les tampons en bois dans les tubes crevés;

Deux massettes en laiton;

Un marteau rivoir;

Une rallonge pour clefs;

Un tire-bourre en acier pour enlever les garnitures;

Un crochet servant également pour arracher les garnitures;

Une lanterne de niveau d'eau et une pour le manomètre;

Deux lanternes à mains;

Six tampons en bois pour tubes.

Le mécanicien doit encore avoir dans sa caisse un assortiment de *goupilles*, du *chanvre*, du *fil de fer*, et une *pelote de forte ficelle*. Enfin, dans la caisse doit être affichée la liste complète des outils.

Tous les outils et ustensiles d'une machine, sans aucune exception, doivent être marqués à son numéro. On doit exiger du mécanicien qu'il les tienne toujours au complet, bien entretenus en état de service et parfaitement en ordre. Il est nécessaire, pour cela, d'exercer sur les caisses à outils une surveillance active et fréquente. Tout mécanicien qui perd un outil doit en payer la valeur en le faisant remplacer de suite; il doit, en outre, subir une amende sévère toutes les fois qu'on trouve dans sa caisse un outil appartenant à une machine autre que la sienne.

CHAPITRE II.

Machines en service.

Les détails du service journalier sont nombreux; depuis le moment où une machine est allumée jusqu'à celui où elle rentre à son dépôt, elle exige une attention toute spéciale de la part du mécanicien qui la conduit et de la part des chefs de dépôt qui la surveillent; la conduite surtout exige des soins tout particuliers pour la conservation de la machine, l'économie de la consommation, la régularité et la sécurité de la marche. Exposer les préceptes généraux qui peuvent être formulés à ce sujet, tel est l'objet que nous nous proposons de traiter dans le présent chapitre.

§ 1^{er}. — Service des dépôts.

1^o ALLUMAGE. — L'allumage des machines est réglé par la feuille dressée par le chef de dépôt, qui indique l'ordre dans lequel les machines doivent prendre le service; il est confié au chauffeur de nuit pour les machines qui doivent prendre le service dans la nuit ou le matin, et aux mécaniciens eux-mêmes pour celles qui doivent partir dans la journée. Les machines sont préparées à l'avance, c'est-à-dire qu'elles ont le feu chargé et la chaudière remplie d'eau. Le chauffeur de nuit, connaissant le temps qu'il faut à chacune pour monter en vapeur, temps qui peut varier d'une heure à trois, selon les conditions de chaudière et de cheminée, les allume à l'heure voulue pour qu'elles se trouvent prêtes quelque temps avant l'heure du départ. En hiver, l'allumage doit être un peu avancé, afin que le mécanicien puisse réchauffer l'eau de son tender avant son départ et empêcher ainsi ses pompes de geler en route. C'est d'ailleurs au mécanicien à indiquer au

chauffeur de nuit combien de temps avant l'heure du départ il veut que sa machine soit prête. On doit à ce sujet lui laisser quelque latitude.

Le réchauffement de l'eau du tender par la vapeur avant la mise en marche est d'ailleurs toujours avantageux, attendu que pendant le stationnement le tirage étant presque nul, toute la chaleur est utilisée pour produire la vapeur qui est conduite dans le tender, tandis qu'en marche l'air chaud sortant à une très-haute température, on ne réchauffe l'eau froide introduite dans la chaudière qu'avec une grande perte de chaleur, ainsi que nous l'avons déjà dit à propos des réservoirs. Lorsqu'on veut ainsi réchauffer l'eau avant le départ, il faut que la chaudière soit remplie à une assez grande hauteur, afin qu'il en reste encore une quantité suffisante au moment du départ. La quantité de combustible que l'on met dans le foyer ne doit être que celle strictement nécessaire pour faire monter la machine en vapeur. Autrement il y a perte de chaleur et la machine part avec un feu trop allumé et déjà épuisé. On ne saurait, du reste, apporter un soin trop minutieux à la préparation des machines avant leur départ; on verra plus loin qu'il n'y a pas possibilité de bonne marche et d'économie sans cela.

Le premier devoir d'un mécanicien ou d'un chauffeur de nuit, avant de mettre le feu dans une machine, est de s'assurer que la chaudière est bien réellement remplie d'eau. Pour cela il ne doit pas s'en rapporter à l'apparence de l'eau dans le tube du niveau, il doit en manœuvrer tous les robinets en s'assurant qu'ils fonctionnent bien, puis faire une seconde vérification par les robinets d'épreuve. Cette opération doit se faire, quelque conviction que l'on puisse avoir que la chaudière est pleine et même lorsqu'on vient soi-même d'y introduire l'eau, car le niveau peut donner une indication fautive. Si nous insistons autant sur ce point, c'est qu'il n'y a pas de chemin où plusieurs chaudières n'aient été brûlées faute de ces précautions. Avant de mettre le feu dans une machine, il faut encore s'assurer que le régulateur est fermé, le levier de changement de marche placé au point mort et le frein du tender serré. Tout cela est encore indispensable.

On allume la machine en intercalant entre la grille et le combustible froid des copeaux, des tronçons de fagots ou du bois résineux, et en y mettant le feu par dessous au moyen d'une torche de résine ou d'un paquet de chiffons gras enflammés, que l'on présente au bout du pique-feu.

2^o ALIMENTATION DANS LES GARES. — A moins de circonstances exceptionnelles, un mécanicien qui conduit bien et qui a soin de sa machine ne doit pas avoir besoin d'alimenter en stationnement, quel que soit le temps qui s'écoule entre l'allumage ou son arrivée et son départ. Cependant, lorsqu'une machine a besoin d'être alimentée, on doit, autant que possible, attendre qu'elle commence à avoir un excès de vapeur et en profiter pour la mettre en mouvement. Alors, après s'être assuré que la voie est libre, le mécanicien met sa machine en marche à très-petite vitesse et ouvre ses deux pompes, afin de dépenser le moins de vapeur possible et d'obtenir plus d'effet utile des pompes, qui en rendent d'autant plus qu'elles fonctionnent plus lentement. Lorsqu'il existe dans un dépôt des galets pour les machines à roues indépendantes, le mécanicien ne doit ouvrir le régulateur que d'une petite quantité afin de ne pas faire marcher trop vite le mécanisme; les deux pompes doivent être ouvertes à la fois. Ces précautions sont indispensables pour ne pas faire fonctionner inutilement la machine et occasionner une usure sans but utile.

3^o CHARGEMENT DU TENDER. — Dès son arrivée au dépôt, et après que sa machine est tournée, le mécanicien doit faire remplir son tender d'eau et de combustible, de telle sorte qu'il puisse réchauffer avec l'excès de vapeur que, dans aucun cas, on ne doit laisser perdre par les soupapes, et aussi pour que, sans déranger d'autres machines et sans perdre de temps, il soit toujours prêt à partir en cas de besoin. Le combustible se délivre sur la demande du mécanicien qui indique la quantité que l'on doit en charger. Il est tenu d'assister à ce chargement et souvent on l'oblige de donner reçu de la quantité livrée.

4° EXTINCTION ET LAVAGE. — Lorsque le service d'une machine est terminé, le mécanicien jette son feu avant de la faire rentrer au dépôt. Cette opération se fait sur une voie ordinaire, au-dessus d'une fosse dans laquelle descend le chauffeur pour sortir du cendrier le feu que le mécanicien y a fait tomber au moyen de sa lance. Une machine dont on jette le feu doit avoir encore assez de pression dans sa chaudière pour pouvoir être conduite jusqu'à sa place dans la remise, sans l'intervention d'une autre action que celle de la vapeur sur les pistons.

Le lavage des machines se fait à des époques fixées par le chef de traction, d'après le parcours effectué et le degré de pureté des eaux. Cette opération fort importante doit être confiée au chef d'équipe des manœuvres du dépôt, qui en devient responsable.

La chaudière, ainsi que nous l'avons dit, doit être munie de bouchons à vis ou autoclaves, qui permettent de lancer un fort jet d'eau et de passer une tringle, d'abord au-dessous des tubes et ensuite sur les quatre faces du foyer. L'opération se poursuit jusqu'à ce que, malgré l'agitation de la tringle et en dirigeant le jet en tous sens, l'eau sorte parfaitement claire. Si le mécanicien n'assiste pas au lavage, il faut laisser sa chaudière ouverte. C'est lui-même qui la ferme après s'être assuré qu'elle est complètement nettoyée.

Lorsque l'eau est très-impure, il est bon de profiter de la pression qui reste au moment de la rentrée de la machine, après le feu jeté, pour vider une partie ou la totalité de l'eau qui se trouve chargée de toutes les matières étrangères provenant de la quantité d'eau employée pendant tout le service. C'est ce que l'on appelle *vider à chaud*.

5° SERVICE DE NUIT. — Lorsqu'il y a des trains de nuit, le sous-chef de dépôt doit rester de garde pour attendre les trains, ordonner les secours au besoin, faire rentrer les machines qui arrivent et veiller au service de la remise. Il ne conserve avec lui que le nombre d'hommes strictement nécessaire pour les manœuvres à effectuer pour la rentrée des machines. Pendant la

nuît la remise doit être tenue constamment fermée. Le chauffeur de nuit a seul le droit d'y rester et ne doit pas la quitter. Il est responsable de tout ce qui peut arriver aux machines qui sont sous sa garde. La remise doit rester éclairée toute la nuit.

6° VISITES AU DÉPÔT ET NETTOYAGE. — Lorsqu'une machine est rentrée au dépôt, le mécanicien procède à sa visite. Il en passe en revue toutes les parties; s'assure que toutes les clavettes et goupilles n'ont pas bougé; que, par la marche, les écrous ne se sont pas desserrés; puis il porte son attention sur toutes les parties qui lui ont paru avoir pris du jeu ou avoir subi quelque dérangement pendant la marche. Il donne du serrage aux coussinets qui en ont besoin; il refait les garnitures qui perdent et donne du serrage à celles qui s'usent. Il ne doit laisser aucun détail du mécanisme sans examen. C'est au moyen de ces soins que l'on évite les accidents de route et qu'on conserve longtemps une machine en bon état. On voit fréquemment des pièces se briser et des machines manquer en service sans qu'on s'explique bien la cause, qui cependant n'est autre que le manque de soin dans la visite journalière.

Pendant que le mécanicien fait la visite de sa machine, le chauffeur doit s'occuper du nettoyage. Pour cela il commence par les tubes, dans lesquels il passe avec soin une longue tringle flexible; la cendre qui reste à l'intérieur des tubes y adhère et forme bientôt, si elle n'est pas régulièrement enlevée, une croûte qu'on ne peut plus en détacher et qui, étant peu conductrice de la chaleur, réduit très-sensiblement la production de vapeur. Lorsque le chauffeur sent dans un tube quelque obstacle indiquant un commencement d'obstruction, il doit en prévenir le mécanicien qui, au moyen d'une tringle disposée à cet effet, enlève l'incrustation avec les précautions nécessaires pour ne pas crever le tube. Les tubes nettoyés, le chauffeur passe le balai dans toutes les parties de la boîte à fumée pour en détacher la cendre qui s'y est attachée, puis il nettoie le tuyau d'échappement qu'il prend d'avance le soin de boucher avec un tampon de chiffons, afin que

rien ne puisse tomber dans le cylindre; enfin il racle et balaie la cheminée, dont la propreté à l'intérieur influe très-sensiblement sur le tirage de la machine.

Il place ensuite lui-même les barreaux de grille sous la surveillance du mécanicien qui est responsable des accidents qui pourraient arriver, si ces barreaux étaient mal placés, s'ils étaient trop courts ou trop longs.

La chaudière préparée, le chauffeur s'occupe du mécanisme et nettoie spécialement les parties les plus difficiles à atteindre lorsque la machine est en feu et en service et qui sont celles que les nettoyeurs négligent ordinairement. Le travail du chauffeur doit être fait avec toute l'intelligence que peut y apporter un homme qui connaît une machine et qui la suit continuellement. Il doit donc examiner si rien ne manque ou n'est dérangé dans les pièces qu'il nettoie, et faire part au mécanicien de ce qu'il peut remarquer.

La machine passe ensuite entre les mains des nettoyeurs, manœuvres préposés spécialement à ce service, qui achèvent de nettoyer, de fourbir les pièces du mécanisme, qui nettoient la cheminée, l'enveloppe extérieure de la chaudière, etc. Il n'est pas indifférent de maintenir les machines dans un grand état de propreté; c'est un des meilleurs moyens de visite, qui fait souvent découvrir des fissures, des criques annonçant un commencement de rupture; la propreté est nécessaire pour que le mécanicien s'attache à la machine et en prenne un soin particulier; le plus souvent, s'il rend très-sale la machine qu'il a prise bien nettoyée, c'est qu'il a apporté peu de soin à l'alimentation, ce qui a fait primer, ou qu'il a gaspillé l'huile et la graisse. Ce moyen de contrôle échapperait si les machines n'étaient pas nettoyées avec soin après chaque journée de service; elles ne tarderaient pas à se couvrir d'une couche de crasse qui rendrait à peu près impossible toute visite utile des pièces du mécanisme en marche ou au dépôt.

Le chef de dépôt doit lui-même visiter fréquemment les machines en service, au moment où elles sont en stationnement; il s'as-

sure si chaque mécanicien a bien fait la visite de sa machine et s'il lui a donné avec intelligence tous les soins d'entretien nécessaires.

7^e RÉPARATIONS D'ENTRETIEN COURANT. — Du soin qu'on apporte à faire en temps convenable les réparations d'entretien courant, dépend la durée du bon service d'une machine. Si, comme nous l'avons dit précédemment, on prend des mécaniciens capables de réparer leurs machines, qu'on organise le service de manière à leur laisser un jour ou deux de séjour au dépôt, de temps en temps, si enfin on leur adjoint un ouvrier pendant quelques jours, lorsqu'ils ont beaucoup à faire et surtout aux époques où on tourne les bandages et où la machine est arrêtée pendant une dizaine de jours, et qu'à mesure qu'une pièce s'use l'atelier prépare une de rechange, la machine peut rester très-longtemps en service sans rentrer aux ateliers. Ce séjour des mécaniciens au dépôt n'est souvent, du reste, que le temps nécessaire à leur repos.

Un entretien courant, bien régulier, échelonne les travaux à faire aux différentes parties de la machine, de telle sorte qu'il est toujours facile de faire le nécessaire dans l'intervalle de quelques jours. On a, en outre, l'avantage de n'avoir en service que des machines toujours dans de bonnes conditions et de diminuer le nombre de celles qui sont nécessaires pour l'exploitation. Enfin, nous le répétons, le mécanicien finit ainsi par s'intéresser à sa machine, il en prend beaucoup plus de soin en route et en tire alors seulement le meilleur parti possible. Si on ne procède pas ainsi, le mécanicien et les ouvriers du dépôt qui prévoient que la machine doit bientôt rentrer en grande réparation, la négligent complètement au moment précisément où elle aurait le plus besoin de soins, de sorte que les dégradations s'aggravent de la manière la plus fâcheuse, et que les réparations deviennent très-coûteuses.

Il est au reste évident que si l'on fournit à un mécanicien des coussinets de rechange à mesure que ceux de la machine sont usés, et qu'au premier jour de rentrée il en remplace un, et à la fin du

service suivant un autre, s'il peut recevoir également d'autres pièces de rechange et qu'il répare ainsi successivement toutes les parties de sa machine, elle pourra, sauf le cas d'accident, marcher pendant un temps considérable.

Il n'y aurait en dehors de ce cas que le dressage des glissières, des guides de boîtes à graisse, des tiroirs et de leurs tables et le remplacement des segments de piston. Or, c'est pour ces réparations, qui n'ont lieu qu'à des intervalles de temps assez longs, qu'il convient d'adjoindre au machiniste un ouvrier habile, et alors elles peuvent se faire facilement, soit en profitant du moment du tournage des roues, soit en faisant doubler le service à une autre machine en bon état.

Il y a donc un grand avantage à intéresser le mécanicien à cet entretien successif et à maintenir sa machine en service. En parlant des primes, nous indiquerons comment on peut atteindre ce but. Si les mécaniciens sont seulement chargés de la conduite des machines, ils signalent aux chefs de dépôt les réparations à faire, et ceux-ci les font exécuter par les ouvriers attachés *ad hoc* au dépôt; lorsqu'elles ne peuvent pas être terminées dans les intervalles du service, le mécanicien monte sur une machine de rechange.

Nous allons maintenant passer en revue les diverses réparations d'entretien courant qui doivent être faites au dépôt, et nous indiquerons comment on doit procéder pour chacune d'elles.

Boîtes à graisse. Elles doivent être bien nettoyées, les mèches entretenues avec soin et remplacées dès qu'elles sont assez sales pour ne plus fonctionner; les mèches ne doivent être ni trop grosses, ni trop minces. Dans le premier cas, elles ne donnent pas assez d'huile, dans le second, elles en perdent inutilement. Le mécanicien s'assure que l'huile ne passe pas entre le coussinet et la boîte, et ne se perd pas ainsi sans graisser la fusée. Le meilleur moyen pour cela est de prolonger le tube qui reçoit la mèche jusque dans le coussinet, et de faire descendre la mèche jusqu'au près de la fusée, sans cependant qu'elle la touche, car dans ce cas elle est pincée entre elle et le coussinet et est entraînée.

Lorsqu'une boîte à graisse a chauffé en route, on doit visiter la fusée et le coussinet en ôtant le dessous de boîte, et, s'il y a lieu, en levant la machine à la grue, pour s'assurer qu'il n'y a pas eu grippement; si les surfaces ne sont pas altérées, il suffit de laver et bien nettoyer le tout, et de remettre des mèches neuves dans les siphons. Une précaution importante lorsqu'on place les mèches, c'est de les bien imbiber d'huile avant de les introduire dans les tubes graisseurs; sans ce soin il arrive souvent que même en versant beaucoup d'huile sur le tube et la mèche, la partie qui doit faire siphon reste sèche et que les fusées grippent. Si la fusée ou le coussinet présentent des traces de grippement, on les remet en état au moyen d'une lime douce, en ayant le soin de faire sur le coussinet un sillon croisé pour conduire l'huile, sans quoi le grippement recommence presque infailliblement.

De temps en temps il faut, lorsqu'on juge que les coussinets s'usent, refaire les rainures destinées à conduire l'huile sur toute la surface de la fusée, ou les nettoyer si elles sont encore assez profondes, attendu qu'au bout d'un certain temps elles s'emplissent de limailles détachées des métaux qui s'usent ou de la poussière qu'entraîne la fusée.

Il arrive quelquefois qu'après un certain parcours une fusée s'échauffe sans cause apparente; cela tient en général à ce que le coussinet usé par le frottement pince la fusée sur ses faces latérales. Cela est plus fréquent dans les boîtes dont les coussinets ont la forme d'un demi-octogone, car le coussinet, portant sur deux plans inclinés, finit par se resserrer. Dans ce cas, comme lorsqu'on place un coussinet neuf, il faut lui donner un diamètre intérieur un peu plus grand que celui de la fusée. Cette opération doit être faite avec soin en plaçant le coussinet dans la boîte et le présentant sur la fusée enduite de rouge. Il arrive fréquemment que des ouvriers inintelligents donnent trop de jeu sur les côtés, et alors il en résulte qu'il n'y a plus de contact que sur une très-petite surface ou bien que la fusée, surtout celle de l'essieu des roues motrices, prend du jeu dans les coussinets.

Bielles. — Pour la grosse tête de bielle, il convient que les coussinets se touchent et soient fortement serrés l'un contre l'autre, tout en laissant entre eux et le tourillon le jeu nécessaire pour la liberté du mouvement. On arrive à ce résultat en diminuant les parties en contact des deux coussinets, à mesure qu'on donne du serrage, ou en plaçant à l'avance entre eux des lames de métal qu'on amincit à mesure que l'on veut donner du serrage. C'est aussi ce qui se fait pour les colliers d'excentrique. Les épaisseurs qu'on place derrière les coussinets doivent se mettre tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, selon le système de bielle, afin de ne faire que compenser l'usure et le serrage sans changer la longueur de la pièce. Pour apprécier le serrage que l'on donne, la meilleure méthode consiste à serrer fortement et à fond, puis ensuite à lâcher les écrous ou les clavettes de la quantité nécessaire pour le jeu qu'on veut laisser. Dans les machines qui ont un long service, il faut bien s'assurer du serrage dans différentes positions, car il arrive rarement qu'un tourillon reste rond. Pour les bielles d'accouplement, il faut laisser beaucoup plus de jeu que pour les bielles motrices. Ce jeu doit exister en tout sens.

Pistons. — La visite des pistons doit être faite par le mécanicien lui-même ; il ne convient d'ouvrir les cylindres pour cette opération que lorsqu'il y a des fuites de vapeur, ce qui s'entend facilement en marche, ou après un long service pour s'assurer si les cylindres ne sont pas rayés. En serrant les pistons, on ne doit donner aux segments qu'une très-légère pression contre la surface des cylindres. Un piston bien serré doit pouvoir être poussé à la main dans toute la longueur du cylindre, lorsque la tige est détachée de la crosse et libre dans son presse-étoupe. Les pistons en bronze doivent être moins serrés que ceux en fonte, car la dilatation du bronze étant plus forte que celle de la fonte fait augmenter le diamètre des segments et leur donne du serrage contre les parois du cylindre, lorsqu'on introduit la vapeur. Un piston trop serré empêche la marche de la machine et peut, surtout avec les segments en fonte, gripper et rayer le cylindre. L'opération du serrage du piston nécessite donc tous les soins du mécanicien.

Lorsqu'on vient de placer un piston, il est dur pendant au moins trois jours de marche ; il ne fonctionne bien qu'après ce temps, et avant d'être resserré, il perd la vapeur pendant plusieurs jours. Il est donc fort important d'avoir des pistons qui marchent le plus longtemps possible, et c'est pour cela qu'il convient de donner la préférence à la fonte qui peut marcher au moins quatre fois aussi longtemps que le bronze. Mais, pour qu'elle soit vraiment avantageuse, il faut qu'elle soit d'excellente qualité, afin de ne pas user rapidement les cylindres ; c'est pour cela que la fonte exige plus de soins de la part du mécanicien.

Il arrive assez souvent que des cylindres se rayent. On peut, lorsque les cannelures sont peu profondes, les ramener à un beau poli, en faisant disparaître les rayures qui se produisent en même temps sur les segments, puis en les remettant en place avec un peu plus de serrage qu'à l'ordinaire et en graissant souvent les cylindres en marche. Dans ce cas, il faut ouvrir les cylindres à la fin de chaque service pour voir si le mal diminue ou s'aggrave, et à chaque fois resserrer légèrement, s'il y a lieu.

Lorsque les segments commencent à s'user un peu fortement, il faut, avant de les remettre en place, s'assurer, en leur donnant le serrage ordinaire, qu'ils portent partout. S'ils ne s'appliquent pas contre le cylindre dans tout leur pourtour, on les ouvre en les martelant à l'intérieur et ils peuvent ainsi achever de s'user. Mais cette opération demande du soin et l'habileté. Dans ce cas, et pour les segments qui s'ouvrent au moyen de coin, il faut que ce coin ne porte pas contre le cylindre et en soit à une distance de 3 ou 4 millimètres, afin qu'il ne puisse pas venir le toucher et le rayer. Les segments de piston bien serrés sont remis dans leur position ; le piston est alors centré au moyen de la vis de support et ensuite fermé.

Tous les boulons ou vis d'un piston doivent être fortement serrés, et si quelque taraudage a du jeu, il faut changer la vis ou l'écrou, car la moindre pièce qui viendrait à se détacher en route pourrait occasionner la rupture du piston et du cylindre, et dans tous les cas, une avarie grave. C'est pour ce motif qu'il convient

de faire les brides des cylindres très-fortes et les plateaux très-légers, afin qu'en pareil cas, ou lorsque le piston se détache, le plateau puisse se briser sans que le cylindre soit endommagé.

Excentriques. — Les colliers d'excentriques doivent toujours être serrés de manière que les deux moitiés joignent fortement. C'est donc en diminuant l'épaisseur placée dans le joint, ou en limant les deux parties en contact, qu'on leur donne du serrage. Mais, comme les poulies et les colliers *n'usent pas rond*, il faut procéder à cette opération par tâtonnement, en détachant la barre d'excentrique de sa suspension et en plaçant le collier dans diverses positions. Le jeu qui existe dans cette pièce ne produit du reste pas de choc; il n'a pour résultat que de donner du retard au tiroir et de diminuer sa course.

Garnitures. — Les garnitures se font en chanvre enduit de suif. On fait une série de mèches grasses assez fortes pour bien remplir l'espace laissé entre la boîte à étoupe : on roule ces mèches autour de la tige et on les pousse dans la boîte jusqu'à ce qu'elle soit remplie; on serre alors avec le presse-étoupe qui comprime la partie introduite, puis on recommence jusqu'à ce que la boîte soit suffisamment pleine d'étoupe bien comprimée. La seule précaution à prendre est de faire la mèche assez forte pour bien remplir l'espace vide à chaque tour et assez égale pour qu'il s'en trouve autant d'un côté que de l'autre, afin que la pression soit égale et que la tige ne soit pas décentrée.

Lorsque le presse-étoupe n'est pas exactement du diamètre de la tige, la garniture est plus difficile à faire, parce qu'il faut éviter que le chanvre ne se prenne entre deux : ce qui rend le mouvement dur et peut faire rayer une tige. Une garniture neuve doit être fortement serrée en commençant; elle se lâche dès que la chaleur se fait sentir, et il faut la resserrer souvent à mesure qu'elle diminue de volume.

Pour les pompes, il faut supprimer le suif et faire les garnitures à l'eau, toute matière grasse introduite dans une pompe ayant l'inconvénient de faire adhérer les clapets des soupapes sur leurs sièges et de les empêcher de fonctionner.

Le graissage des presses-étoupe, des tiges de tiroirs et de pistons est fort important; il rend le mouvement plus doux et conserve les garnitures et les tiges. Lorsqu'il n'y a pas de godet sur le presse-étoupe, il convient de mettre sur chaque tige un paquet de mèches qu'on arrose d'huile, et qui suffit pour ce graissage.

Mèches de graissage. — Elles doivent être renouvelées assez souvent; elles s'encrassent promptement et cessent de fonctionner. Leur pose, pour être bonne, demande quelque soin; ainsi que nous l'avons déjà dit, trop grosses et trop serrées dans le tube qui les contient, elles ne donnent pas assez; trop minces pour ce même tube, elles donnent trop.

Lorsqu'au dépôt un mécanicien ouvre les pompes, les cylindres, les boîtes à tiroirs, les boîtes à clapets, etc., il doit, pendant tout le temps qu'il ne travaille pas dans une de ces ouvertures, tenir les orifices bouchées avec des tampons de chiffon, afin que rien n'y puisse tomber; de plus, avant de les refermer, il doit les visiter à l'intérieur, afin de s'assurer que, par malveillance ou par négligence, on n'y a rien introduit. C'est là une précaution indispensable, et on doit rendre responsable celui qui ferme ces orifices des accidents qui arriveraient par suite de l'introduction de corps étrangers.

Enfin, une partie des machines que les mécaniciens négligent trop souvent, quoiqu'elle nécessite beaucoup de soins, ce sont les robinets. Il faut les nettoyer et les graisser de temps à autre, et roder fréquemment tous ceux qui perdent. Ceux du niveau d'eau, ainsi que les orifices d'introduction des tuyaux des pompes dans la chaudière, demandent aussi à être visités, débarrassés de temps en temps et d'une manière complète des incrustations qui souvent finissent par les obstruer.

Pièces de la distribution. — Les mécaniciens doivent s'assurer de temps à autre si les pièces de la distribution n'ont pas pris trop de jeu; ils y remédient en rapportant des rondelles sur les boulons d'articulation, et en les remplaçant au besoin; ils rap-

portent également des épaisseurs sous les coussinets du guide de la tige de tiroir, etc.

Entretien du tender. — Les mécaniciens, en général, ne s'occupent pas assez de leur tender, il est cependant important qu'ils y donnent le peu de soin que cet annexe de la machine exige. Le frein doit être souvent graissé dans ses articulations, et il faut s'assurer qu'il fonctionne bien ; les boîtes à graisse doivent être nettoyées de temps en temps, les coussinets visités et mis en état. Ces deux parties du tender sont à peu près les seules qui nécessitent des réparations et des soins d'entretien ; mais il est indispensable de les maintenir en bon état, tant pour la sécurité du service que pour la bonne marche de la machine.

§ 2. — Service des trains.

MISE EN TÊTE DU TRAIN. — Le mécanicien qui conduit un train est responsable de la marche de sa machine et de tous les accidents, autres que ceux de force majeure, qui peuvent avoir lieu en route ; il convient donc qu'il arrive au dépôt assez à temps avant le premier départ, pour pouvoir non-seulement visiter sa machine, mais encore y faire ce qui pourrait être nécessaire, dans le cas où il y remarquerait quelque désordre, ou bien si elle était mal préparée.

En arrivant, le mécanicien doit d'abord voir si son feu est bien allumé, s'il est convenablement chargé, et si la chaudière contient assez d'eau. Puis, lorsqu'il est certain que sa machine sera dans de bonnes conditions de marche au moment du départ, il visite le tender, s'assure qu'il est plein d'eau, y fait charger le combustible nécessaire pour la consommation pendant le trajet, il ouvre les robinets réchauffeurs pour chauffer l'eau du tender, etc. Une demi-heure avant le départ, il charge son feu, et, si c'est du coke qu'il emploie, en met jusqu'à 0^m 20 environ au-dessous de la porte.

A l'heure prescrite, il se rend en tête du train qu'il doit conduire. A ce moment, la chaudière doit être bien remplie d'eau, et la tension de la vapeur doit être au maximum. La machine attelée, le

mécanicien procède au graissage ; il doit le faire avec le plus grand soin et avec méthode, c'est-à-dire en suivant toujours le même ordre : c'est le moyen de ne jamais omettre de pièces. Les godets bien remplis et quelques gouttes seulement répandues sur les articulations, il met de l'huile dans les joints des coussinets de bielle, sur les côtés des coussinets et des excentriques, ainsi que sur les glissières et sur les tiges de tiroirs et de pistons. Le graissage ne doit se faire qu'au dernier moment, afin que l'huile ne tombe pas avant de pénétrer dans les articulations, ce qui n'a lieu que par le mouvement. Lorsqu'une machine est en service régulier, elle peut partir du dépôt pour aller se mettre en tête sans graissage préalable. Lorsqu'elle sort des ateliers, ou lorsqu'elle est restée longtemps sans marcher, il faut graisser légèrement avant de la mettre en mouvement, puis faire un graissage complet au moment du départ.

Les pistons se graissent avec de l'huile ou mieux avec du suif fondu de très-bonne qualité. Cette opération n'a lieu qu'au moment même du départ, après que la machine a déjà marché et que les cylindres sont chauds. On commence par ouvrir les robinets purgeurs, puis, les cylindres vidés d'eau, on introduit le suif. Sans ces précautions, le suif reste à la surface de l'eau condensée dans le cylindre et n'en lubrifie pas les parois : il est projeté par la cheminée dès les premiers coups de pistons. La quantité de suif à introduire dans chaque cylindre doit être d'environ un ou deux décilitres. Pendant que le machiniste graisse sa machine, le chauffeur achève de charger le feu. Le chargement du feu avant le départ varie selon les dimensions du foyer, la nature du coke et la facilité avec laquelle la machine produit de la vapeur. Si la machine vaporise peu et que le coke soit dur, il convient de charger le feu un peu avant de se mettre en tête du train, et de mettre aussi plus de coke à l'allumage. Si le contraire a lieu, il faut avoir peu de feu et charger beaucoup au moment du départ. Enfin, cette partie de la préparation de la machine varie selon que le chemin est en rampe, en niveau ou en pente sur les 4 ou 5 premiers kilomètres.

L'importance de cette préparation de la machine est très-grande, car si le coke est incandescent et déjà allumé depuis longtemps, il produit un excès de vapeur inutile au moment du départ; il brûle avec une extrême facilité et oblige à recharger le feu après un parcours de 5 à 6 kilomètres, c'est-à-dire au moment où il faut alimenter, alors que la chaudière commence à moins produire, et qu'il faudrait au contraire un feu vif et ardent; tandis que la même quantité de coke, chargée bien à temps, peut faire deux et trois fois cette distance. Un point important au départ, c'est d'avoir beaucoup d'eau dans la chaudière, une forte tension de vapeur et de l'eau chaude dans le tender.

Avant le départ, le mécanicien doit s'assurer que l'attelage du train au tender a été convenablement fait par les hommes d'équipe de la gare, ou par le chauffeur.

2° CONDUITE DE LA MACHINE. — Lorsqu'on donne le signal du départ, le mécanicien doit mettre lentement sa machine en marche; cela doit avoir lieu ainsi, toutes les fois qu'il démarre un train, pour ne pas fatiguer les attelages. Pour démarrer lentement, il suffit d'ouvrir très-faiblement le régulateur, la vapeur se détend dans les conduits d'introduction et n'agit plus sur les pistons qu'à une faible pression.

La vitesse normale ne doit pas être atteinte de suite; il convient de laisser la graisse lubrifier toutes les parties de la machine, en marchant avec modération pendant quelque temps après le départ.

La conduite d'une machine est fort difficile. Un élève intelligent peut apprendre à en faire marcher une au bout de 3 ou 4 mois: jamais il ne sait la bien conduire, quelque fort qu'il soit, avant plusieurs années d'un travail assidu et d'une attention soutenue. Une machine entre les mains d'un homme habile coûte en général 2 à 300 fr. de moins par mois que lorsqu'elle est confiée à un mécanicien ordinaire. On ne saurait donc attacher trop de soin à cette partie du service.

Tout repose sur le rapport à établir et à maintenir entre la quantité d'eau que contient la chaudière, l'activité de la combustion et la dépense de vapeur, de telle sorte que le

niveau de l'eau reste toujours au point le plus élevé dans la chaudière. Ainsi que nous l'avons déjà fait ressortir, c'est l'activité de la combustion qui assure la production de vapeur, et c'est de la production ou, ce qui revient au même, de la dépense de vapeur que dépend le tirage, et par suite la combustion. Il faut toujours un feu d'une activité extrême, soutenue par un bon tirage; si la combustion n'est pas assez vive pour subvenir à la dépense, la tension s'abaisse, le tirage devient par suite moins énergique, le feu déjà insuffisant languit et produit de moins en moins, jusqu'à ce que la machine s'arrête. Si dans un pareil moment on veut charger le feu, le combustible froid introduit dans le foyer fait encore baisser la pression en empêchant le rayonnement vers le ciel du foyer et ses parois. Si, en outre, le mécanicien ouvre au même moment les pompes, il donne le coup de grâce à sa machine. Il devient nécessaire d'arrêter complètement, pour attendre que la machine se remette en vapeur, comme si on l'allumait au dépôt.

Le mécanicien doit donc s'attacher à avoir une production excédante de vapeur, soit au moment où il va charger le feu, soit au moment où il va alimenter, afin que le refroidissement produit par chacune de ces opérations ait seulement pour effet d'abattre cette production surabondante. Pour les trains qui s'arrêtent fréquemment aux stations, le mécanicien profite de ces arrêts pour charger le feu et alimenter, parce qu'il y a toujours un intervalle de temps plus ou moins long pendant lequel la vapeur continue à se produire sans se dépenser, et le refroidissement occasionné par l'une de ces deux opérations l'empêche de se produire en trop grand excès. Le tuyau d'échappement est d'une grande ressource pour régler cette opération si délicate du chargement et de l'alimentation; si le mécanicien, par suite de son défaut d'habitude ou par suite du profil du chemin ou du mauvais temps, n'a pas pu arriver naturellement à cet excès momentané de production de vapeur, il le détermine en serrant l'échappement quelques instants avant de charger le combustible dans le foyer ou d'introduire l'eau dans la chaudière. Un des avantages des machines à grand foyer que l'on construit actuellement est de donner au tirage naturel une

plus grande part d'influence et d'atténuer les effets du refroidissement occasionné par le chargement du feu ou l'alimentation ; mais un mécanicien inexpérimenté peut tomber dans l'excès contraire et arriver à une exagération de vaporisation qu'il ne peut plus dominer, et qui occasionne une perte notable par les soupapes. La grande habileté consiste, dans tous les cas, à maintenir constamment la tension de la vapeur très-près de sa limite supérieure, sans faire souffler les soupapes.

Pour marcher à une vitesse régulière pendant tout le trajet, sur les rampes comme sur les pentes, seule marche d'ailleurs convenable, il faut employer d'autant plus de vapeur que la machine a un plus fort travail à effectuer, et pour cela se préparer à l'avance et n'aborder une rampe, par exemple, qu'avec un feu d'autant plus chargé et une machine d'autant mieux en état comme alimentation et comme tension, que cette rampe est plus longue et plus forte. Les deux dernières conditions ne suffisent pas, la principale est d'avoir un feu fortement chargé et bien allumé pour subvenir à l'accroissement de dépense que la machine va avoir à faire. Par suite, un mécanicien doit, avant tout, connaître parfaitement le profil du chemin qu'il doit parcourir, afin que sa machine soit toujours préparée longtemps à l'avance pour le travail qu'elle aura à faire en abordant chaque changement de pentes de la ligne. Il ne doit pas perdre de vue ce fait, qu'une machine bien préparée fait beaucoup de vapeur en montant une rampe, parce que le tirage est très-énergique, et que, s'il y a beaucoup de feu, la production est considérable ; tandis qu'en descendant une pente, au contraire, la machine travaillant peu, le feu languit et il est très-difficile de maintenir la pression. Il faut donc, dans le cas d'une longue rampe à monter ou d'une longue pente à descendre, tenir le feu bien chargé et la chaudière bien pleine.

Si, dans chacun de ces deux cas, il n'a pas eu soin de bien charger le foyer, il arrive promptement à manquer de vapeur par les deux causes opposées, c'est-à-dire, dans le premier cas, parce que la dépense est trop forte pour la puissance de production ; dans le second, parce que la dépense est trop faible pour entretenir un tirage suffisant qui maintienne l'activité du feu.

D'après ce que nous venons de dire, il est facile de comprendre qu'il est de la plus haute importance de maintenir toujours, et pendant tout le trajet, le feu parfaitement chargé, le niveau de l'eau dans la chaudière aussi élevé que possible, et de ne pas attendre, pour charger le feu ou alimenter, que la diminution de pression se fasse sentir, car alors on augmenterait infailliblement le mal qui commence à se produire. C'est au contraire, lorsqu'il commence à y avoir excès de tension de la vapeur, qu'il convient d'alimenter ou de charger le feu. C'est cet excès de tension que le mécanicien habile doit obtenir aux points où il lui faut préparer sa machine pour monter sans difficulté une rampe encore éloignée. Le chargement du feu et l'alimentation n'ont alors pour résultat que d'empêcher la perte de vapeur qui tend à se produire, et la chaudière conservé toujours une forte tension.

La tension de vapeur dans une chaudière de machine locomotive en marche doit toujours être maintenue au maximum pour lequel cette chaudière est timbrée. C'est le seul moyen d'arriver à la puissance, à la vitesse et à une grande économie de combustible. On ne doit pas régler la marche par la pression, mais seulement par l'emploi de la vapeur avec plus ou moins de détente, selon le travail que la machine peut avoir à faire. En effet, par ce procédé, on emploie moins de vapeur, ce qui épuise moins la chaudière et permet d'avoir moins de feu et de consommer moins de combustible, en maintenant plus facilement la pression. Comme il est nécessaire, en même temps, pour obtenir un effet utile raisonnable de la vapeur dépensée à haute pression et sans condensation, de la faire travailler à une tension assez élevée dans les cylindres, et comme la détente par la coulisse de Stephenson, que nous avons seule en vue, détermine l'étranglement des orifices d'introduction, et, par suite, affaiblit les tensions de la vapeur dans les cylindres, il faut avoir des chaudières frappées d'un timbre aussi élevé que possible ; c'est là, du reste, un point sur lequel nous avons déjà insisté.

Il est très-mauvais de régler la marche de la machine en diminuant la tension dans la chaudière, comme le font encore

quelques anciens mécaniciens ; il l'est presque autant de la régler par le régulateur, ce qui a pour résultat de n'envoyer dans les cylindres que de la vapeur sous une faible pression produisant peu d'effet utile. C'est en faisant varier la détente qu'on doit régler la marche, et, tant que cela suffit, le régulateur doit être tenu grand ouvert. On ne doit le fermer que lorsque la détente ne peut pas varier dans des limites assez étendues pour modérer suffisamment la vitesse.

Le mécanicien peut augmenter la production de vapeur en activant le tirage au moyen de l'échappement variable, lorsqu'elle est insuffisante ; dans le cas contraire, il peut la régler au moyen du registre de rentrée d'air, placé sur la boîte à fumée. En diminuant la section de l'orifice de sortie de vapeur, on augmente le tirage, et par conséquent la vivacité de la combustion ; mais alors, la consommation de combustible augmente suivant une progression rapide, et qui n'est nullement en rapport avec l'augmentation de vapeur produite : de plus, en serrant l'échappement, on crée sur le piston une résistance très-sensible qui se traduit par une réduction importante d'effet utile. Il faut donc, par tous les moyens possibles, arriver à donner à la tuyère d'échappement son maximum de section. Ce n'est, en général, qu'à la fin d'un trajet qu'il convient de serrer fortement l'échappement.

Lorsqu'en route, l'échappement étant ouvert en grand, il se produit encore un excès de vapeur, on diminue le tirage en ouvrant la prise d'air placée sur la boîte à fumée. Ce moyen doit toujours être préféré à l'introduction de l'air froid à travers le foyer et les tubes, obtenue par l'ouverture de la porte du foyer, moyen nuisible aux chaudières et au bon emploi de la chaleur. La prise d'air n'agissant pas aussi promptement et activement que l'ouverture de la porte, il faut en prévoir le besoin un peu à l'avance.

Nous avons dit que le feu devait toujours être bien chargé ; cependant, la hauteur du coke à maintenir dans le foyer durant le trajet varie selon les machines et selon la qualité du coke. Mais dans tous les cas, et surtout avec les cokes durs, il faut charger souvent et par petites quantités à la fois ; on éprouve

ainsi moins de variations de pression, et le feu se conserve plus ardent.

Le coke doit être placé de manière à ne jamais encombrer les tubes et à former un plan très-incliné en montant de la plaque tubulaire vers la porte du foyer, et s'élevant surtout dans les angles à l'arrière du foyer. La combustion tend toujours à être plus rapide vers la porte que près des tubes ; il faut donc mettre une plus grande hauteur de combustible pour égaliser la combustion, dégager les tubes et obtenir une plus large surface de rayonnement. C'est contre la porte, et surtout dans les angles d'arrière du foyer que l'on doit charger le plus fortement. Le feu d'un foyer bien chargé doit être concave et présenter à peu près la forme d'un segment de sphère, dont le centre serait placé vers les dernières rangées supérieures des tubes. En chargeant beaucoup vers la porte et peu vers la plaque tubulaire, on arrive à maintenir dans le foyer une masse de combustible assez considérable, et si, d'une part, la hauteur de la masse est telle qu'il se produise de l'oxyde de carbone, de l'autre, il doit passer un excès d'air qui le brûle dans les tubes, de telle sorte qu'en dernier résultat, la combustion a lieu dans les conditions les plus favorables.

La forme du chargement de coke doit toujours être maintenue avec le plus grand soin, et chaque pelletée posée pour ainsi dire, au point où il est nécessaire. Il faut éviter d'introduire dans le foyer de trop gros morceaux de coke qui formeraient entre eux de grands espaces vides, et qui pourraient former voûte. Cela a d'autant plus d'inconvénients que la couche de coke a moins d'épaisseur. Il y a, du reste, moins de désavantage à charger le feu avec du coke trop gros qu'avec du coke en très-petits morceaux qui empêchent le tirage, bouchent les tubes, et passent promptement à travers la grille ; il faut une dimension moyenne.

La plupart de ces observations s'appliquent à la houille, mais elle se charge toujours sur une beaucoup plus faible épaisseur que le coke. Cette précaution est indispensable pour que les gaz et goudrons, produits par la distillation que la houille éprouve, puissent brûler convenablement.

Le mécanicien ne doit se mettre en tête du train qu'avec son feu bien allumé et de ne faire un nouveau chargement que très-peu de temps avant le signal du départ. On a essayé, jusqu'ici avec avantage, pour éviter la fumée pendant le stationnement, d'établir un petit jet de vapeur, pris directement sur la chaudière, qu'on lâche dans la cheminée dès que la machine est arrêtée.

Pour régulariser la production de vapeur, beaucoup de mécaniciens emploient l'alimentation. Dans ce cas, il faut alimenter avant le chargement du feu, cesser au moment du chargement, puis recommencer alors que le coke est bien allumé et que la production de vapeur est intense. C'est surtout en arrivant à une station, alors que l'on ferme le régulateur et que la tension augmente, qu'il convient de forcer l'alimentation, car la vapeur monte toujours assez pendant le stationnement. Et, comme c'est aux stations, pendant que la machine ne fonctionne pas, qu'il faut charger le feu, parce qu'alors on peut le faire avec plus de soin, et parce qu'en ouvrant la porte on n'introduit pas d'air froid, on se trouve alors, pendant que le coke s'allume, fortement approvisionné d'eau.

Ce mode d'alimentation, qui est le plus facile pour la conduite d'une machine, n'est cependant pas à beaucoup près le plus avantageux, car il en résulte que la tension dans la chaudière changeant à chaque instant par l'introduction de l'eau en abondance, puis ensuite par le chargement du feu, la marche n'est pas aussi régulière, et la consommation s'en ressent. Puis, d'un autre côté, en n'alimentant que par intervalles, il faut qu'à des instants donnés les pompes agissent en plein, ce qui cause de forts chocs des soupapes et une prompte dégradation de leur siège, fatigue les tuyaux et les joints. Le meilleur mode d'alimentation est celui que l'on obtient d'une manière continue, en n'ouvrant que très-peu la soupape du tender et la laissant généralement au point reconnu convenable après quelques essais. La conduite de la machine est alors plus difficile, mais elle est aussi plus avantageuse, et c'est celle-là que doit adopter tout bon mécanicien. Si l'on adopte l'alimentation continue, il convient de faire baisser la

pression, au moyen de l'échappement variable ou de la prise d'air, avant d'arriver à une station, afin que jamais la vapeur ne sorte par les soupapes. Les trains *omnibus* ou ceux qui arrêtent à toutes les stations sont très-difficiles à conduire économiquement avec une machine qui produit beaucoup de vapeur. Il faut un grand soin de la part du mécanicien pour ne pas en perdre. Avec une machine qui produit peu de vapeur, les trains directs sont, au contraire, plus difficiles à conduire que les trains omnibus.

L'alimentation doit toujours être telle que la chaudière contienne autant d'eau qu'elle en peut porter, sans qu'il y ait entraînement dans les cylindres, où sans que la machine crache. Il y a pour cela plusieurs raisons que voici : 1° une machine produit d'autant plus de vapeur et marche d'autant mieux, qu'elle contient plus d'eau dans les limites que nous venons d'indiquer ; 2° les abaissements de tension sont d'autant moins sensibles lorsqu'on alimente ou lorsqu'on charge le feu ; 3° dans un moment de gêne ou de difficulté de marche, l'eau contenue dans la chaudière forme une réserve de puissance motrice dont on peut toujours avoir besoin ; 4° enfin, en cas d'accident qui force à un long arrêt ou à un arrêt brusque, soit lorsqu'un tube vient à crever ou une fuite à se déclarer, soit enfin si les pompes se dérangent, ce qui arrive assez souvent, on n'est pas exposé à brûler une chaudière, et cela arrive presque infailliblement aux mécaniciens qui ont la mauvaise habitude de marcher l'eau très-basse. Cette condition rend donc très-importante la recherche des moyens propres à prévenir l'entraînement de l'eau.

Lorsque dans une machine locomotive on ouvre le régulateur pour la mettre en marche, la diminution de pression qui se produit augmente l'ébullition de l'eau qui se tuméfie et change très-sensiblement son niveau. Ce phénomène est très-visible dans les machines qui ont un faible réservoir de vapeur : cette différence de niveau va souvent jusqu'à 8 et 10 centimètres. Le machiniste doit donc, avant tout, se rendre compte de l'action produite par l'ouverture du régulateur, car, sans cela, le niveau indiquant encore beaucoup d'eau, il pourrait brûler le foyer ou les tubes au moment où il arrêterait.

Lorsqu'on ouvre le régulateur d'une machine, il y a toujours une tuméfaction de l'eau. Cette tuméfaction varie selon la capacité de la chaudière, ou plutôt selon la capacité du réservoir de vapeur. Elle est d'autant plus forte que cette capacité est moindre; elle s'accroît lorsqu'on augmente l'ouverture du régulateur ou que l'on diminue la détente dans les cylindres.

C'est là un point important dont le mécanicien doit tout d'abord se rendre compte, afin de ne pas partir avec trop d'eau dans sa chaudière, et de conserver toujours assez d'eau pour qu'en fermant le régulateur, il en reste assez pour recouvrir le foyer lors de l'abaissement du niveau du liquide.

Il faut aussi, dans ce cas, que le mécanicien tienne compte de ce que, dans la marche, l'eau se porte à l'arrière, et de ce que, dès qu'on ralentit en faisant serrer les freins, l'eau par son inertie tend à se porter à l'avant de la machine et à découvrir le foyer. Cet abaissement momentané, qui disparaît dès que l'arrêt est complet, est quelquefois de plusieurs centimètres.

Dans les machines dont le corps cylindrique est de très-petit diamètre, et dans lesquelles le réservoir de vapeur de cette partie est faible, d'autres causes de changement du niveau apparent de l'eau viennent compliquer celles que nous venons d'indiquer. Si le régulateur est à l'arrière de la machine, c'est-à-dire au-dessus du foyer, l'eau s'élève beaucoup plus dans le tube, lors de l'ouverture du régulateur. Cette surélévation apparente, qui cesse à la fermeture du régulateur, est quelquefois de 10 centimètres. Tant qu'on marche il n'y a pas de danger, mais en arrivant à une station, ou si un accident ou un signal forcent à arrêter brusquement, en laissant trop baisser le niveau de l'eau, on brûle infailliblement le foyer ou les tubes.

Dans des machines à chaudière de petit diamètre, dont la prise de vapeur est placée à l'avant, l'effet contraire a lieu, c'est-à-dire qu'au moment de l'ouverture du régulateur le niveau de l'eau dans le tube indicateur s'abaisse, et il remonte lorsqu'on ferme le régulateur.

Enfin, nous devons dire que, lorsque l'eau de la chaudière est

sale, après plusieurs jours de service consécutifs, ou lorsqu'on met dans la chaudière des produits chimiques pour détruire les incrustations, les changements de niveau que nous venons d'indiquer sont beaucoup plus sensibles.

Si, pendant le trajet, la machine vient à manquer de vapeur, soit parce que le feu ou l'alimentation n'ont pas été bien conduits, ou par toute autre cause, il ne faut pas chercher à se remettre peu à peu dans de bonnes conditions, ou à soutenir encore quelque temps la vitesse normale qui épuiserait bientôt complètement la machine. La première chose à faire est de serrer l'échappement, puis de n'employer que le moins de vapeur possible et charger le feu en plusieurs fois et successivement, en alimentant à temps convenable et à mesure que le coke introduit dans le foyer est allumé. L'échappement, dans ce cas, doit rester serré jusqu'à ce que le feu et le niveau de l'eau soient complètement rétablis. Il n'y aurait pas économie, et on perdrait beaucoup de temps, si on desserrait l'échappement avant que la machine ne fût entièrement remise dans les meilleures conditions, car, nous ne saurions trop le répéter, pour bien marcher il faut toujours se maintenir au-dessus de ce qui est nécessaire et se trouver presque embarrassé d'employer la vapeur produite.

Le mécanicien qui va arrêter à une station doit lancer son train à une bonne vitesse, fermer son régulateur et laisser le train marcher par la vitesse acquise pendant quelque temps. La vitesse lorsqu'elle est assez grande se conservant bien, il ne faut serrer les freins qu'en approchant de la station, lorsque le ralentissement commence à devenir sensible. Pour bien arrêter à une station, il faut que le mécanicien se rende compte : 1° du poids de son train; 2° du plus ou moins d'action des freins placés sur les voitures; 3° de l'état des rails. Par la pluie, il faut arrêter de plus loin que lorsqu'il fait sec, car le train roule plus facilement et les freins ont moins d'action; s'il y a du brouillard et que les rails ne soient qu'humides, ils sont encore plus glissants, il faut par conséquent prendre plus tôt ses mesures pour arrêter.

3° ARRIVÉE ET RETOUR AU DÉPÔT. — En approchant du point d'arrivée, on laisse diminuer le feu de manière à n'avoir de vapeur que ce qui est strictement nécessaire pour les manœuvres de gare ou pour arrêter brusquement le train en cas d'encombrement de voie ou de signal d'arrêt. En parcourant les derniers kilomètres, et alors qu'il n'y a plus qu'une épaisseur de 30 à 40 centimètres de combustible sur la grille, il convient de serrer l'échappement pour maintenir la pression. L'encombrement de la grille et des tubes rend ce tirage énergique utile et empêche qu'il ne produise une combustion trop rapide.

Le point capital en arrivant au dépôt, après avoir conduit un train, c'est d'avoir dans la chaudière un excès d'eau. Le mécanicien fait tourner alors sa machine, la prépare pour le retour en faisant charger son tender d'eau et de combustible, s'il y a lieu; il la place à l'endroit où elle doit stationner jusqu'au prochain départ, et ne la quitte qu'après l'avoir fait capuchonner et après en avoir fait la visite. Il intercepte alors le tirage naturel, met le levier de changement de marche au point mort et serre le frein du tender. La machine, ainsi préparée, peut rester en place pendant 24 heures sans consommation sensible.

Si, en arrivant à un point extrême, le mécanicien n'a pas pu obtenir assez d'eau dans la chaudière, ce qui arrive souvent quand il n'a pas maintenu assez de feu à la fin du trajet, il doit remplir la chaudière avant de rentrer au dépôt et conduire sa machine à la place où elle doit rester en stationnement.

Il procède ensuite au nettoyage des tubes, qui doit surtout être fait de suite, s'il y a quelques fuites dans le foyer, car, sans cela, la vapeur fait adhérer aux parois des tubes les cendres et scories, qu'il est ensuite très-difficile d'en détacher.

Quant au feu, si le combustible ne fait pas beaucoup de mâchefer, on ne le pique pas à l'arrivée; on se contente de charger ce qui est nécessaire pour qu'il ne s'éteigne pas. Si la grille est encombrée, il convient de piquer légèrement le feu, et, dans un cas comme dans l'autre, on ne fait le piquage complet qu'au moment où on va charger le feu pour se préparer au départ. En piquant le feu

trop tôt, on augmenterait beaucoup la consommation en rendant le tirage trop facile et en faisant tomber beaucoup de menu coke qui est très-bon pour le temps de réserve et qui économise autant de combustible neuf.

Nous avons dit, en parlant des dépôts, combien il était important de bien préparer une machine qui doit rester en stationnement, de manière à ne pas la forcer à se mettre en mouvement pour alimenter, ce qui nécessite un chargement spécial du feu en pure perte; car le combustible ainsi allumé continue à brûler lorsque la machine est revenue à sa place, et produit de la vapeur qui épuise encore de nouveau la chaudière. Il est donc nécessaire que le mécanicien veille lui-même à la tenue de sa machine pendant qu'elle est en feu au dépôt, et qu'on ne charge le feu que sur son ordre et devant lui. Les fortes consommations de beaucoup de mécaniciens viennent en général de ce qu'ils ne s'occupent pas assez de leur machine en réserve, et de ce qu'elle n'est pas convenablement préparée au départ.

4° CONDUITE A DEUX MACHINES. — Il est souvent nécessaire d'atteler deux machines à un même train, soit pour remorquer une charge exceptionnelle, soit pour surmonter les difficultés résultant du vent, de la neige ou du verglas, soit enfin pour renvoyer à son dépôt une machine qui a fait un train spécial ou la double conduite. Cette manœuvre n'a pas d'inconvénient lorsque les machines accouplées sont dans de bonnes conditions de stabilité.

Dans aucun cas, on ne doit faire entrer ainsi dans la composition d'un train une machine éteinte à moins qu'on n'ait démonté les bielles motrices et les tiges de tiroir; les pistons et tiroirs gripperaient infailliblement après un faible parcours.

Lorsque le travail d'une seule machine suffit pour remorquer le train, soit parce qu'il y a peu de charge, soit parce que le profil du chemin n'exige qu'un effort modéré de traction, la machine placée en second ne doit travailler qu'autant que cela est nécessaire pour entretenir la circulation de la vapeur dans les cylindres et la combustion dans le foyer; le levier de changement de marche

doit être placé à un cran très-voisin du point mort et le régulateur faiblement ouvert. La marche est ainsi plus régulière et jusqu'à un certain point plus sûre que si la première machine était gênée dans ces mouvements et souvent poussée par la seconde.

Dans tous les cas, c'est le mécanicien de la machine d'avant qui règle la marche; il fait signe au mécanicien d'arrière lorsqu'il doit accélérer sa marche; au moyen d'un léger coup de sifflet il lui fait modérer sa vitesse ou même fermer son régulateur.

Le mécanicien de la deuxième machine doit toujours avoir les yeux fixés sur celui qui le précède et se tenir prêt à obéir à tous les signaux.

Lorsqu'un train est remorqué par deux machines, il faut autant que possible que les mécaniciens s'entendent pour ne prendre de l'eau aux stations intermédiaires qu'alternativement.

§ 3. — Observations diverses.

1° SERVICE DE SECOURS. — Dans beaucoup de circonstances, notamment pour le service de secours, il est nécessaire d'expédier sur la ligne, en dehors des heures réglementaires et sans avis préalable, des machines isolées. La conduite de ces machines ne présente aucune particularité qui mérite d'être mentionnée; seulement, il est nécessaire que le mécanicien redouble d'attention pour observer l'état de la voie et les signaux qui pourraient lui être faits; la vitesse ne doit pas dépasser celle des convois en marche; elle doit être réduite dans tous les points où la vue n'embrasse pas une grande étendue.

Les machines-pilote partent habituellement le tender en avant, lorsqu'elles vont à la rencontre des trains attendus; dans ce cas surtout, il est nécessaire de modérer leur vitesse, car le tender a moins d'assiette sur la voie que la machine; il peut avoir un mouvement de lacet assez considérable; le mécanicien est moins en état d'apercevoir les signaux d'alarme, de telle sorte qu'il y a en définitive, dans ce cas, une cause d'insécurité qu'il convient d'atténuer par une réduction de vitesse.

Lorsque le mécanicien qui conduit la machine-pilote aperçoit le train attendu en marche, il doit ralentir, afin d'arrêter et de se mettre en communication avec lui, si le mécanicien du train s'arrête de son côté; si au contraire le train marche régulièrement, la machine-pilote doit être conduite jusqu'aux plus prochaines aiguilles, où elle passe d'une voie sur l'autre pour rentrer à son dépôt. Le retour doit avoir lieu à une vitesse modérée, et le mécanicien-pilote doit prendre ses mesures pour ne pas se rapprocher trop du train qui le précède ou gêner celui qui le suit; il doit se conformer aux délais fixés pour la succession des trains qui suivent une même voie.

La machine de secours, indépendamment de ses outils et agrès ordinaires, doit porter une prolonge; lorsqu'elle remorque un train en détresse, elle le pousse d'abord à l'arrière, jusqu'à la rencontre des aiguilles de changement de voie; elle opère alors les manœuvres de mise en tête du train au moyen de la prolonge.

Indépendamment des agrès que porte la machine, il doit y avoir dans chaque dépôt un *wagon de secours* chargé d'agres et prêt à partir à toute occasion, en cas de déraillement ou d'accident résultant des travaux de secours exceptionnels.

On place habituellement sur ces wagons, en ayant soin de les renfermer dans des coffres ou de les attacher avec des chaînes, les objets suivants:

Deux ou trois paires de roues et des boîtes à graisse de wagons, un poulain en bois pour mettre ces roues de rechange à terre, des rails et des traverses garnies de leurs coussinets, un assortiment de morceaux de bois de charpente de diverses dimensions, des crics et des vérins, des pinces en fer et des leviers en bois, une prolonge, des chaînes, un assortiment de clous, boulons, outils d'ajusteur et de charpentier.

Ces objets ne servent qu'à de rares intervalles, mais il est nécessaire de les tenir constamment approvisionnés sur le wagon de secours, pour éviter tout retard dans l'opération du sauvetage, lorsqu'un train encombre la voie par suite d'un déraillement ou de tout autre accident.

2° **ESSAI DES MACHINES NEUVES OU RÉPARÉES.** — Lorsqu'une machine neuve vient d'être livrée, ou lorsqu'une machine a subi une grande réparation, il est nécessaire de lui faire subir un voyage d'essai, afin de reconnaître s'il n'y a pas quelque défaut d'ajustage ou de montage qui la rende impropre au service. Il convient de lui faire faire un parcours de 10 à 20 kilomètres, sous la surveillance du chef des ateliers ou de l'un des contre-maitres. Les premiers kilomètres doivent être parcourus à petite vitesse, et, à la station la plus rapprochée du point de départ, on doit arrêter pour vérifier si rien n'a chauffé, si aucune pièce n'a manqué; si le résultat de cette vérification est favorable, et il doit l'être si le travail a été bien exécuté, on peut lancer la machine pour compléter l'essai pendant la dernière partie du parcours. Ces essais sont du reste prescrits par les règlements administratifs.

Il convient en outre de ne pas mettre immédiatement aux trains directs une machine qui sort de réparation, et surtout une machine neuve, et de commencer par lui faire faire quelques trains omnibus, afin qu'elle puisse être très-souvent visitée et graissée, jusqu'à ce que les surfaces de frottement soient bien rodées.

3° **RAPPORTS DES MÉCANICIENS AVEC LES DIVERS SERVICES DE L'EXPLOITATION.** — Les mécaniciens sont maîtres sur leur machine et n'ont d'observations ou d'ordres à recevoir, pour ce qui concerne la conduite proprement dite, c'est-à-dire la conduite du feu et de l'alimentation, le graissage, la dépense de vapeur, la manœuvre de tous les organes de la machine, que de leurs chefs directs, tels que chefs de dépôt, chefs de traction, etc. ; mais, par contre, pour tout ce qui concerne les manœuvres qu'il est possible d'effectuer avec une machine, ils sont dans la dépendance absolue des agents du service du mouvement. Ce sont ceux-ci qui fixent les heures de départ, la vitesse des trains, la durée des stationnements, etc. Dans les stations, le mécanicien et le chauffeur sont sous les ordres du chef de station; ils exécutent toutes les manœuvres qui leur sont commandées pour avancer, reculer, garer des wagons ou en prendre pour les ajouter au train; dans le cas

où ces manœuvres seraient dangereuses pour la sûreté des personnes et la conservation du matériel, le mécanicien peut soumettre ses observations à l'agent qui commande, sauf à exécuter, si l'ordre est maintenu, et à en référer à ses chefs directs. Si le danger était imminent, le mécanicien peut, sans aucun doute, refuser d'exécuter les manœuvres, car on ne peut contraindre personne à faire une imprudence évidente; mais il ne doit pas perdre de vue quelle responsabilité considérable il encourrait s'il entravait le service pour un prétexte futile, et dans le seul but de contrarier les mesures prises par un agent auquel il est subordonné.

Dans le parcours entre deux stations, le mécanicien, pour tout ce qui ne concerne pas le service proprement dit de la machine, est sous les ordres du chef du train, qui est responsable des mesures et manœuvres exceptionnelles qui peuvent devenir nécessaires en cas d'accident. Le mécanicien arrête au premier signal que lui donne le chef de train, en ayant soin toutefois de s'assurer si ce signal n'annonce pas une séparation du train par une rupture d'attelage, auquel cas il doit continuer sa marche jusqu'à ce que la partie séparée du train soit arrêtée; il ne repart que sur son ordre; c'est sur son ordre également qu'il avance ou recule pour garer un train sur une voie d'évitement; en cas d'accident arrivé à la machine qui l'empêche de continuer, ou qui ralentit considérablement la marche, il en donne immédiatement avis au chef de train, qui est chargé de prendre toutes les mesures de précaution prévues en pareil cas.

Il est de rigueur que le mécanicien ne démarre jamais d'une station sans avoir reçu le signal établi à cet effet, et qui consiste habituellement en un coup de cloche à main; en démarrant prématurément, le mécanicien qui ne peut pas se rendre exactement compte de ce qui se passe vers le milieu ou à la queue du train et dans la station, pourrait occasionner de graves accidents dont il serait incontestablement responsable.

Avant de démarrer, le mécanicien doit avertir, par un coup de sifflet bref, qu'il ouvre le régulateur; il doit de plus mettre un

intervalle de quelques secondes entre l'ouverture du régulateur et le coup de sifflet, afin que les agents qui peuvent se trouver engagés sous la machine, sous les voitures ou entre leurs tampons, aient le temps de se retirer ou au moins de se mettre en garde. Cet intervalle peut être très-court, de 4 à 5 secondes, mais il doit être observé; on devrait, à plus forte raison, détruire la mauvaise habitude que beaucoup de mécaniciens ont adoptée pour gagner du temps, et qui consiste à ouvrir le régulateur aussitôt que le signal du départ commence à retentir et à siffler ensuite.

Le mécanicien doit obéir aveuglément aux signaux de ralentissement ou d'arrêt qui lui sont faits par les agents placés sur la voie; il ne peut pas savoir ou prévoir d'une manière exacte dans quel but ces signaux ont été faits, et il ne doit jamais les discuter ou chercher à les apprécier. Si une manœuvre exceptionnelle nécessite l'inobservation de certains signaux, le mécanicien ne doit pas en prendre la responsabilité, il doit exiger qu'un employé du mouvement, ayant qualité à cet effet, monte avec lui sur la machine, pour prendre l'initiative de cette mesure anormale et toujours accompagnée d'un certain danger.

Il ne résulte pas de la nécessité d'obéir d'une manière absolue aux signaux, que le mécanicien ne doive apporter lui-même aucune attention à l'état de la voie, il doit constamment avoir les yeux fixés sur les rails, pour reconnaître autant que possible, et indépendamment des signaux d'alarme, si l'espace est libre devant lui, s'il n'y a pas d'obstacles; il doit porter également son attention sur la seconde voie que parcourent les trains qui viennent à sa rencontre, afin de les avertir en route, ou de les faire avertir à la station la plus voisine, s'il existe quelque obstacle à la circulation.

LIVRE VI

ATELIERS DE RÉPARATION.

Nous avons indiqué, en parlant de la conduite des machines, les systèmes différents que l'on pouvait employer pour leur entretien courant, auquel on pouvait faire participer plus ou moins complètement les mécaniciens-conducteurs; quel que soit le système adopté, cet entretien se fait dans les dépôts et s'intercale dans le service, soit pendant les jours de repos, soit pendant quelques jours de suspension momentanée de service. Mais lorsqu'une machine a éprouvé de graves avaries par suite d'un accident, ou lorsqu'elle est arrivée, par suite d'un service prolongé, à un degré d'usure qui ne permet plus de la faire marcher avec une sécurité et une économie suffisantes, il faut la faire entrer en *réparation*. Pour cela, des ateliers spéciaux doivent être établis sur un ou plusieurs points de la ligne du chemin de fer, suivant son importance et sa configuration. Ces ateliers comprennent une division spéciale pour l'entretien des voitures; mais celle-ci ne s'occupe spécialement que des travaux de charronnage, menuiserie, peinture et garnissage; les gros travaux de forge et d'ajustage et la réparation des roués s'exécutent presque toujours dans l'atelier principal; c'est de celui-ci que nous nous occuperons plus spécialement.

§ 1^{er}. — Conditions générales d'établissement.

Lorsqu'on établit une ligne de chemin de fer d'une grande importance, il est nécessaire d'étudier de longue main la question des ateliers de réparation et d'arrêter le choix des emplacements. Les éléments à prendre en considération sont l'étendue et la configuration de la ligne principale ; la position de ses embranchements ; l'importance et la nature du trafic ; la distribution des relais de machines, la position des villes qui fournissent, par la nature de leur industrie, des ressources pour la main-d'œuvre des ouvriers spéciaux ; leur position par rapport aux lieux de production des matières premières ; et la situation du siège de la direction de l'entreprise, la disposition du terrain aux abords des gares principales et les facilités qu'elle présente pour la construction d'établissements qui couvrent une grande superficie, etc. La question est nécessairement très-complexe et d'une solution difficile.

Pendant quelque temps on a pensé que, pour les chemins de fer qui venaient faire tête à Paris, il y avait une grande importance à y placer l'atelier principal, pour profiter des ressources indéfinies qu'on y rencontre pour la main-d'œuvre, et pour la commande à l'extérieur des pièces fabriquées ; on est revenu de cette opinion, mais, en passant d'un extrême à l'autre. Les motifs qui avaient dicté le premier choix subsistent toujours ; mais avec moins d'importance qu'on ne l'avait supposé d'abord.

Sur quelques chemins de fer, on avait pensé qu'il était nécessaire de multiplier les ateliers de réparation ; depuis, on est arrivé à reconnaître qu'on pouvait, par suite des perfectionnements successifs qu'a reçus le service, grouper plus complètement les moyens de réparation. Nous ne chercherons pas à formuler une règle générale, car il n'est pas possible de le faire ; nous prendrons seulement l'exemple de deux groupes de chemins de fer placés dans des conditions un peu différentes, ceux de l'Est et du Nord.

1^{re} Ligne de l'Est. — Le réseau de l'Est comprend deux grandes lignes principales de 500 kilomètres chaque environ, partant de Paris vers le Rhin, réunies par plusieurs lignes transversales

et desquelles se détachent, en outre, des embranchements importants par leur trafic et leur étendue.

Les prévisions, en ce qui concerne les ateliers, ont été calculées pour un réseau d'environ 1,700 kilomètres d'étendue, et pour un parcours journalier d'environ 30,000 kilomètres par les trains. La banlieue parisienne, d'ailleurs, ne paraît pas devoir donner jamais lieu à un mouvement considérable de voyageurs comme sur les lignes du Nord et de l'Ouest. Ceci posé, voici comment ont été répartis les grands ateliers de réparation, lesquels sont au nombre de quatre, savoir :

1^o A Paris (La Villette), tête des 2 lignes. Atelier central de construction et réparation de wagons ;

2^o A Epernay, point d'embranchement de la ligne de Reims, à 142 kilomètres de Paris. — Atelier principal de réparation et construction de machines et tenders ;

3^o A Mulhouse, tête de la ligne de Paris, sur le parcours de la ligne transversale de Bâle à Strasbourg, au milieu d'un grand centre industriel, la Compagnie ne possède encore que l'ancien atelier de la Compagnie de Bâle pour la réparation des machines et tenders ; mais il va y être créé, sur une vaste plaine, un atelier comparable en importance à celui d'Epernay ;

4^o A Montigny, près Metz, point de soudure des embranchements de Thionville et de Forbach. Atelier mixte de charronnage pour la construction et la réparation des wagons, et pour la réparation des locomotives et tenders.

En outre, parmi les dépôts, actuellement au nombre de 33 pour 1,600 kilomètres exploités, plusieurs exécutent au matériel des réparations assez importantes, en tirant des grands ateliers les pièces principales qu'ils ne pourraient pas exécuter avec leur outillage ; ce sont ceux de Strasbourg, Nancy, Chaumont et Troyes.

2^o Réseau du Nord. — Les lignes appartenant à la Compagnie du chemin de fer du Nord forment, sur une étendue relativement peu considérable de territoire, un grand développement de voies en éventail avec un seul raccordement transversal de Busigny à Somain ; une des branches se prolonge en Belgique jusqu'à Liège.

La disposition des lignes et les besoins successifs du service ont conduit à établir :

1° Un grand atelier central à la Chapelle-Saint-Denis, pour la réparation des machines et tenders, la fabrication des pièces de rechange, et pour l'entretien général des voitures et d'une partie des wagons. Le magasin général de l'exploitation y est annexé;

2° A Amiens, un atelier secondaire embrassant la réparation des machines et tenders, et celle des wagons à marchandises;

3° A Lille, un atelier secondaire affecté à la réparation des machines et tenders, dépendant des dépôts du Nord;

4° A Tergnier, un atelier principal destiné à servir de succursale à celui de Paris.

Le matériel des lignes belges, dont le régime douanier exige la spécialisation, est réparé dans un atelier particulier, à Saint-Martin, près de Charleroi.

L'étendue totale des lignes auxquelles s'appliquent ces moyens de travail sera de 1,500 kilomètres.

Il serait difficile de poser des règles générales relativement à l'importance, comme superficie, des ateliers, magasins et emplacements découverts qu'il est nécessaire de disposer pour assurer le service de l'entretien et de la réparation du matériel. Une compagnie, dans le but de restreindre le cercle des opérations qu'elle doit embrasser, peut adopter en principe le système des commandes de pièces fabriquées à l'extérieur; elle peut même livrer des machines à réparer ou à transformer à des constructeurs particuliers et réduire de beaucoup l'importance des travaux exécutés dans ses ateliers; elle peut, au contraire, se livrer à la construction des machines et des wagons, employer un plus grand nombre de bras, et avoir besoin d'établissements plus considérables que dans le premier cas. Nous nous contenterons encore ici de citer l'exemple des établissements du chemin de fer du Nord; les superficies indiquées sont celles des bâtiments, développées par étages lorsqu'il y a lieu.

superficies des ateliers et des magasins du Chemin de fer du Nord.

DÉSIGNATION DES ATELIERS.	ATELIERS DE				
	La Chapelle.	Amiens.	Lille.	Tergnier.	Saint-Martin.
ATELIERS DES MACHINES ET TENDERS.					
	mq.	mq.	mq.	mq.	mq.
Machines fixes et chaudières.....	280	209	65	405	427
Forge	2,200	176	301	482	390
Chaudronnerie.....	325	100	»	108	104
Ateliers des tubes.....	175	»	»	»	»
Ressorts	395	»	»	»	186
Ateliers des roues.....	905	160	»	»	325
Fonderie de cuivre	162	»	»	»	»
Machines-outils et ajustage	2,440	568	512	686	614
Montage des machines.....	7,860	1,616	1,750	3,800	2,665
Montage des tenders.....	745	»	192	»	»
Peinture des machines.....	»	35	54	»	»
Outilsage.....	40	51	17	72	24
Bureaux des contre-maitres et des comptables.....	86	24	70	20	42
Magasin d'entrepôt.....	312	»	70	24	»
ATELIER DES VOITURES.					
Chantiers couverts.....	1,207	»	»	»	1,500
Scierie mécanique.....	548	»	»	»	119
Forges	492	40	54	209	1,420
Ajustage et montage.....	512	225	34	»	»
Charronnage.....	364	128	250	130	429
Menuiserie.....	505	»	264	»	»
Ebénisterie.....	406	40	21	»	»
Sellerie.....	297	»	»	»	»
Bourellerie.....	15	»	»	211	»
Réparation des bâches.....	200	80	»	»	»
Carderie.....	50	27	»	»	»
Ferblanterie.....	67	54	»	»	»
Fabrication de la graisse.....	182	»	»	»	»
Buanderie.....	72	54	»	»	»

DÉSIGNATION DES ATELIERS.	ATELIERS DE				
	La Chapelle.	Amiens.	Lille.	Tergnier.	Saint-Martin.
Peinture et vernissage.....	mq. 1,960	mq. 1,292	mq. 251	mq. »	mq. 448
Atelier de broyage.....	52	40	»	»	72
Bureaux des contre-maitres et des comptables.....	94	25	14	34	16
Magasin d'entrepôt.....	255	158	370	126	»
Remises des voitures.....	5,267	4,736	2,000	4,363	»
Remises des locomotives.....	5,760	4,575	2,040	2,920	1,865
Bureau central.....	820	70	50	»	260
Magasin général.....	5,900	750	665	819	942
Cours et emplacements affectés aux ateliers et magasins.....	119,920	8,966	54,600	75,260	37,800
TOTAL PAR ATELIER.	157,698	25,978	45,404	89,543	49,085
TOTAL POUR LES CINQ ATELIERS.	365,707 mètres carrés.				

Il convient, lorsque l'on combine le plan d'un atelier, de se ménager de grandes facilités pour agrandir les bâtiments existants, ou pour en changer la destination et en construire de nouveaux qui entraînent une nouvelle distribution. Il est difficile d'apprécier dès l'origine l'importance que prendra l'exploitation d'un chemin de fer pris isolément, et celle que lui donneront les embranchements qui s'y rattacheront successivement ; il faut surtout, et dans ce même ordre d'idées, se ménager de grandes ressources en superficie de terrains.

Les bâtiments construits pour servir d'ateliers doivent être bien aérés et bien éclairés ; ils doivent consister en simples hangars qui se prêtent facilement à toutes les modifications de distribution qui peuvent devenir nécessaires ; la charpente doit nécessairement, dans les ateliers d'ajustage et même dans les ateliers de montage des voitures, quoiqu'à un degré d'utilité moindre que dans le pre-

mier cas, se composer de fermes avec entrails en charpente d'une grande solidité ; ces entrails reçoivent les transmissions intermédiaires des machines-outils et servent de point d'appui pour accrocher des palans, fixer des grues et autres engins propres à faciliter la manœuvre des objets pesants. Il convient en général de prendre le jour sur le toit, il est plus favorable au travail des machines-outils et de l'ajustage ; on évite en outre les charges de l'impôt des portes et fenêtres.

Nous ne reviendrons pas ici sur ce que nous avons dit dans un livre précédent sur le choix des matières premières et sur les soins apportés à l'exécution des travaux ; ce qui est vrai pour la construction des machines neuves l'est également pour la réparation des machines en service.

L'organisation du service d'un grand atelier de chemin de fer exige nécessairement la répartition des attributions entre un certain nombre de personnes, chargées chacune d'une partie du travail ; pour que cette division ne présente pas d'inconvénients, il est nécessaire de la soumettre à une hiérarchie fortement organisée. Sous les ordres directs de l'ingénieur du matériel, une première division s'établit entre l'atelier des machines, comprenant l'entretien des roues et la fabrication des pièces neuves pour les wagons, et l'atelier des voitures, dirigés chacun par un ingénieur ou par un chef d'atelier spécial, suivant l'importance des travaux ; chacun des deux ateliers principaux se partage en sections, forge, ajustage, montage pour les machines, charronnage, montage, peinture, etc., pour les voitures, dirigées chacune par un contre-maitre, et dont le cadre s'élargit plus ou moins suivant le nombre des ouvriers employés. Le magasin, lors même qu'il est destiné à approvisionner tous les services du chemin de fer, est une annexe du service des ateliers, et il doit relever directement de l'ingénieur du matériel, sous le contrôle duquel doivent s'effectuer tous les achats, pour ce qui concerne au moins la nature et la qualité des matières. L'organisation des magasins et particulièrement du magasin central est une des plus importantes d'un service de chemin de fer ; non-seulement sa comptabilité d'entrée et de

sortie, mais ses dispositions de détail et d'ensemble, son ordre, les facilités de dégagement et de circulation, doivent exciter l'attention de l'ingénieur en chef. Comme type d'installation nous nous bornerons à citer les magasins de La Chapelle, au chemin de fer du Nord.

Voici la composition du magasin de La Chapelle et des deux principaux magasins de la ligne de l'Est, non compris les parcs à roues.

	NORD.	EST.	
	LA CHAPELLE.	LA VILLETTE.	ÉPERNAY.
Surface totale.....	6,944	8,864 ^m q	5,960
Surface couverte (développée par étages).....	5,500	4,838	5,450
Longueur développée des voies de chemin de fer propre au magasin seul.....	690	500	70
Grues et appareils à charger.....	5	2	>
Plaques tournantes ou chariots roulants sur rail.....	8	10	5

Enfin, diverses compagnies fabriquent elles-mêmes tout ou partie des matières premières entrant en magasin, notamment le coke, la graisse, le bronze, etc. Ces diverses fabrications exigent des établissements spéciaux et importants.

Le tableau suivant fait connaître l'étendue et la composition des usines à coke de la Compagnie de l'Est :

	ÉTABLISSEMENTS DE		TOTAL.
	FORBACH.	HIRBACH.	
Quantité de coke livré par 24 heures à la consommation.....	8010 m	160	250
Nombre de fours à coke.....	102	162	264
° de cheminées d'appel.....	4	8	12
° d'appareils laveurs.....	6	12	18
° de machines à vapeur.....	2	4	6
Force collective de ces machines.....	46 ch x	32	78
Nombre de chaudières à vapeur.....	1	4	5
Personnel d'employés et ouvriers.....	>	>	1,095
Surface totale des établissements.....	10 h ^{res}	12	22
Surface couverte } habitations d'employés	962 ^m q	1,050	5,502
} ateliers.....		1,400	
Développement des voies ordinaires.....	2,520 m	825	5,145
} petites de service.....	1,450 m	1,514	2,964
Nombre de plaques tournantes } ordinaires.....	21	0	21
} petites de service.....	25	48	74

Indépendamment des comptables qui tiennent les attachements des fournitures et des travaux dans chaque atelier, magasin, etc., le service de la comptabilité générale des établissements de la traction est l'annexe obligée du bureau de l'ingénieur du matériel. Celui-ci est, du reste, seul chargé de tout ce qui concerne les commandes de travaux à l'extérieur.

§ 2. — Nature des réparations.

Les petites réparations se font en général dans les dépôts, comme nous l'avons indiqué; le cercle qu'elles embrassent peut varier dans des limites très-étendues, suivant le degré d'importance respective que l'on attribue aux travaux du dépôt et aux travaux de l'atelier. Elles comprennent d'abord la réparation des garnitures et des joints, le réglage des clavettes, le serrage des boulons, le serrage ou le desserrage des pistons, le mottage ou le remplacement des viroles qui perdent, le rodage des soupapes de sûreté, la visite des boîtes à graisse, le tracé des rainures sur les boîtes à graisse, le dressage de la fusée et du coussinet lorsqu'ils ont grippé, le réglage des ressorts de suspension et des balances. Elles doivent en outre, autant que possible, comprendre une série de réparations d'un ordre plus élevé; ainsi, l'on doit pouvoir, dans l'intervalle du repos de la machine, prolongé au besoin de deux ou trois jours, remplacer au dépôt les tubes usés, réparer les cornières, mettre des pièces au foyer, réparer la cheminée et le tuyau d'échappement, reprendre le jeu qui existe dans le mécanisme, soit en rapportant des épaisseurs ou en changeant les boulons d'articulation, remplacer des feuilles de ressorts cassées, rafraîchir les roues sur le tour, changer les segments de piston et remplacer par des pièces de rechange les pièces usées ou brisées, réparer les tuyaux divers, rôder les soupapes des pompes, etc. Ces derniers travaux, que l'on pourrait appeler *moyennes réparations*, peuvent se faire au dépôt, en donnant de temps en temps à la machine quelques jours de repos supplémentaires; elles se font aux ateliers lorsque la machine exige certains travaux longs et difficiles, qui

nécessitent une mise hors de service prolongée, et qu'elle doit forcément entrer en *grande réparation*, ou lorsque leur nombre et l'importance deviennent tels, qu'il est impossible de les exécuter successivement et à des intervalles plus ou moins éloignés. On comprend du reste qu'il y a une très-grande élasticité dans la ligne de démarcation; la tendance actuelle que nous constatons encore ici, comme l'une des conditions d'économie les plus importantes, est de maintenir les machines le plus longtemps possible en service, par un entretien incessant et par l'exécution successive des réparations, sans attendre que leur somme oblige à les faire rentrer en grande réparation. Un approvisionnement de quelques pièces de rechange peu nombreuses et l'envoi par les ateliers de quelques pièces fabriquées, sur la demande des dépôts, rendent ces réparations faciles sans exiger d'installations onéreuses par elles-mêmes et pour le personnel spécial d'ouvriers qu'il importe de réduire autant que possible dans les dépôts.

Voici du reste le nombre d'ouvriers affectés à l'entretien des machines et tenders dans les dépôts du chemin de fer d'Orléans, sur lequel le système d'entretien dans les dépôts est appliqué depuis plus de 10 ans, et qui, avec le personnel indiqué ci-dessous, est arrivé à avoir un assez grand nombre de machines ayant parcouru plus de 200,000 kilomètres sans rentrer aux ateliers.

Dépôt de Paris...	41 machines en service,	2	monteurs,	4	aides.
— Tours ..	48	—	3	—	6 —
— Bordeaux	26	—	1	—	3 —
Dépôts de	12 machines à march ^{tes} ,	1	—	2	—
Dépôts de	7	—	1	—	0 —

Il faut d'autant plus de monteurs et aides dans un dépôt qu'il y a plus de machines à marchandises, parce que les mécaniciens qui les conduisent restent très-longtemps en route séjourner peu au dépôt, et aussi parce que ces machines s'usent plus vite et exigent plus de réparations par suite du travail considérable qu'elles produisent.

Les travaux exécutés dans l'atelier se réduisent alors à la fabrication des pièces de rechange et à la réparation de quelques pièces

isolées qu'on y apporte du dépôt, à la réparation des roues, à la pose des bandages et au travail du tour, aux réparations générales qui nécessitent le démontage de toutes les pièces du mécanisme et des châssis, la rectification des axes de montage, la réparation ou le remplacement d'une partie des pièces du mécanisme, le remplacement des foyers et des tubes, la réparation de la chaudière; aux réparations nécessitées par suite d'un accident qui met une machine complètement hors de service, aux modifications de système qui équivalent à une reconstruction partielle, etc.

Pour indiquer en détail la nature des réparations que l'on est dans le cas de faire le plus fréquemment aux différentes parties des machines, nous conserverons l'ordre que nous avons adopté pour la description de la machine.

1° APPAREIL DE VAPONISATION. — Les altérations principales qu'éprouve le foyer proprement dit, sont : des boursoufflures ou des fissures occasionnées généralement par des coups de feu. Lorsque les entretoises sont trop écartées, et qu'en même temps les parois du foyer s'amincissent et se recouvrent d'une incrustation épaisse, le métal se surchauffe, perd sa ténacité, et la pression exercée par la vapeur fait boursoufler les parois; on redresse, autant que possible, avec la masse, les bosses ainsi formées et on les consolide par de nouvelles entretoises ou par des armatures additionnelles si elles se sont manifestées dans le ciel du foyer. Les fissures résultent d'altérations occasionnées par le défaut d'alimentation; on les répare après avoir enlevé, au besoin, la partie altérée, en rapportant des pièces intérieures fixées par de nouvelles entretoises qui les rattachent à la paroi de la boîte à feu extérieure et par des vis, ou mieux par des boulons qui les applique. Le cas le plus difficile est celui où il se déclare des fissures entre les tubes; on réussit souvent, surtout lorsque le foyer est encore neuf, à réparer une avarie de cette nature, en entaillant la plaque tubulaire sur la moitié de son épaisseur, et y rapportant une pièce qui remplit la partie évidée, et en la rattachant à la plaque par des vis, de

manière à ne pas augmenter l'épaisseur primitive du métal. On peut ainsi, par des pièces judicieusement placées, doubler la durée d'un foyer et l'amener à faire 10 à 12 années de service, correspondant à un parcours de 200,000 kilomètres, lorsque les eaux d'alimentation sont du reste assez pures.

Les bouilleurs, qu'on a, surtout à l'étranger, placés transversalement ou longitudinalement dans le foyer, se détruisent rapidement à leur jonction avec les parois latérales; les différences de dilatation et la surépaisseur produite par l'emploi d'une cornière déterminent surtout cette altération, qu'on éviterait au moins, en partie, en employant des cuivres emboutis qui s'appliqueraient directement sur les parois; il faut avoir soin de placer à la partie inférieure, où elle est moins exposée à des fuites, la ligne de rivets du bouilleur.

On réussit quelquefois à remplacer un ciel de foyer, sans démonter le foyer tout entier; il faut pour cela que l'intérieur de la chaudière soit accessible à un ouvrier pour faire la rivure. Le remplacement des parois latérales exige presque toujours le démontage complet du foyer; on peut encore remplacer sur place la plaque tubulaire, lorsque la profondeur de la grille au-dessous des tubes n'est pas trop grande, ou seulement la partie qui reçoit les tubes; les armatures du ciel du foyer ne donnent lieu à aucun entretien, mais il faut avoir soin d'enlever de temps en temps les incrustations sur cette paroi, pour éviter que la tête des boulons, placée à l'intérieur du foyer, ne soit trop rapidement détruite par l'action du feu. Quand l'armature comprend des boulons qui la relie avec l'enveloppe extérieure du foyer, il faut les visiter souvent pour éviter qu'ils ne soient coupés par suite des variations de dilatation et de contraction.

Les entretoises se détériorent par l'altération de la tête, qui est successivement détruite par l'action du feu, et par le frottement des morceaux de combustible; la tête saute quelquefois lorsque le métal a été trop écroui par la rivure, et lorsqu'étant trop fort, elle a exigé l'application d'un trop grand nombre de coups de masse pour être refoulée et parée. Lorsqu'une entretoise est brisée,

on perce un trou à l'endroit même où elle se trouve, et on fait, sur un diamètre un peu plus grand, un nouveau taraudage sur lequel on ajuste une nouvelle et plus grosse entretoise. Les entretoises en fer s'altèrent rapidement par oxydation et d'une manière très-inégale; il faut les remplacer lorsqu'il existe quelque doute sur leur solidité; il faut également les remplacer lorsqu'elles sont relâchées, car il est impossible de les matter à froid sans ébranler tous les assemblages du foyer. Les entretoises en forme de boulon peuvent être remplacées avec plus de facilité que les entretoises rivées, car elles peuvent être démontées; cette disposition est la plus convenable pour les entretoises en fer.

Il se déclare souvent des fuites au cadre du bas, qui opère la jonction des deux coffres de la boîte à feu, lorsque les eaux sont incrustantes; on y remédie tant bien que mal par le mâtage; mais il convient, lorsque cette action est grave et se renouvelle, de relever la grille pour soustraire les joints qui perdent à l'action trop directe du feu. Le plus souvent les fentes proviennent de ce que dans la pose originale du cadre on n'a pas eu soin d'y appuyer hermétiquement les tôles; il faut alors dériver, chauffer et refouler jusqu'à ce que les pièces portent complètement, puis on refait la rivure après avoir aisé les trous. Les cadres eux-mêmes se fendent quelquefois dans les angles; on bouche les fentes au moyen de vis ou au moyen de pièces ajustées. La même réparation se fait au cadre de la porte du foyer, dans le cas où il viendrait à se fendre.

Les barreaux de grille s'altèrent rapidement et fléchissent lorsqu'ils sont empâtés et corrodés par le mâchefer et par l'oxydation; on les redresse tant qu'ils conservent une épaisseur suffisante et on les met ensuite au rebut en les remplaçant par des neufs.

L'enveloppe du foyer ne subit d'altération que quand la tête est de mauvaise qualité ou trop faible; mais en général sa durée est presque indéfinie. La partie qui fatigue le plus est celle où sont fixées les attaches des supports, surtout quand les bâtis ne sont pas disposés pour permettre la dilatation; il arrive quelquefois que la tôle se déchire, il faut alors la remplacer, ou, si le mode

de construction le permet, rapporter une pièce de support assez large pour couvrir la fissure.

L'altération du corps cylindrique résulte seulement de l'oxydation à l'extérieur, lorsqu'il y a des fuites qui entretiennent une humidité permanente sous l'enveloppe en feutre et en bois; elle peut encore s'altérer lorsque les eaux d'alimentation sont chargées de sulfate de fer ou d'alumine qui attaquent le métal, comme le ferait un acide libre, ou lorsqu'on fait un abus des matières désincrustantes à réaction acide; dans ce dernier cas, l'enveloppe du foyer subit la même altération, et l'emploi des entretoises en fer devient tout à fait dangereux.

Pour compléter ce que nous avons dit déjà des eaux d'alimentation, nous signalerons l'influence destructive des eaux vitrioliques ou ferrugineuses que l'on peut rencontrer dans les puits creusés dans les terrains ardoisiers, tourbeux ou même crayeux, dans beaucoup de puits artésiens, dans les ruisseaux où se déversent les eaux d'épuisement des mines; nous renvoyons nos lecteurs à un travail publié par l'un de nous, dans les *Annales des Mines* (tome XX, 3^e série).

La cornière qui, dans certains systèmes, relie le corps cylindrique avec la boîte à feu d'un côté, et avec la boîte à fumée de l'autre côté, est très-fatiguée par la pression qu'elle supporte et par les vibrations que tout le système éprouve, soit par suite des inégalités de la voie, soit par suite des mouvements d'oscillation intérieurs auxquels il est soumis lorsque la machine n'est pas bien équilibrée; elle est également fatiguée par la dilatation des tubes. Elle se fend, soit dans la ligne des rivets, soit dans l'angle même; lorsque la rupture n'est pas très-étendue, on peut la réparer par des pièces en cuivre parfaitement ajustées à l'intérieur, et fixées par deux lignes de rivets, l'une en remplacement des anciens rivets, l'autre au delà sur le corps cylindrique. On peut encore couper la portion de cornière altérée et la remplacer en fixant la pièce, au moyen de vis ou de rivets en fer, ou bien en cuivre si on craint d'ébranler le reste de l'assemblage par le travail de la rivure en fer; cette opération exige, dans tous les cas, un très-

grand soin. Quand on remplace la cornière en entier, il convient de la fixer sur le corps cylindrique par deux lignes de rivets.

Les armatures et tirants intérieurs exigent peu d'entretien et de réparations; seulement, il convient de les remplacer, lorsqu'on est conduit à les retoucher, par des fers d'angle appliqués sur les parois planes qui leur donnent la rigidité qui leur manque. Par là on dégage, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, l'intérieur de la chaudière des ferrures qui la rendent souvent inaccessible et qui peuvent faciliter l'entraînement de l'eau par la vapeur.

La plaque tubulaire de la boîte à fumée est exposée à une grande fatigue par suite de la pression exercée par la vapeur sur la partie supérieure non garnie de tubes, et par suite de la différence de dilatation qui existe entre les tubes d'une part et le corps cylindrique et les armatures de l'autre. On y rapporte des pièces lorsque cela est nécessaire, et on la consolide par de nouveaux tirants ou par des fers d'angle intérieurs.

Les tubes à fumée sont exposés à des dégradations de nature diverse : rupture transversale produite par l'écroutissage du métal dans l'étirage au banc, et déterminée par les alternatives de dilatation et de contraction; rupture longitudinale par défaut de soudure et amincissement par suite d'usure. L'amincissement des tubes réduit souvent leur poids des deux tiers du poids primitif. Pour éviter des ruptures par aplatissement, en service, il convient d'essayer fréquemment les chaudières au moyen de la presse hydraulique, lorsqu'on juge que ces pièces arrivent à leur limite de durée; on écrase ainsi les tubes trop faibles et on les remplace. Lorsqu'on craint de faire un trop fréquent usage de la presse, on enlève quelques tubes çà et là pour examiner leur état. Lorsqu'on pose des tubes dans une plaque tubulaire en cuivre, neuve, il convient d'employer des viroles d'une conicité très-faible, après avoir mandriné les tubes, pour les appliquer exactement contre les parois du trou; quand on remplace ces viroles, on leur donne plus de conicité et on augmente leur diamètre; il faut éviter, avec le même grand soin, de fatiguer la plaque tubulaire du foyer par l'emploi du mandrin et par la pose des viroles, car les trous s'élar-

gissent de plus en plus et deviennent plus grands que ceux de la boîte à feu, ce qui rend la pose difficile et défectueuse ; on a quelquefois rapporté des bagues vissées dans des trous agrandis outre mesure, mais cette réparation est fort délicate, et il vaut mieux en prévenir la nécessité par des soins convenables apportés à la pose et au remplacement des tubes. Les tubes s'usent principalement par l'extrémité du foyer ; on coupe les parties réduites à une trop faible épaisseur ou aplaties, et on soude des bouts en laiton et quelquefois en cuivre rouge. Avant de replacer les vieux tubes réparés, on les gratte extérieurement pour enlever les incrustations, et on achève de les nettoyer avec de l'acide hydrochlorique étendu d'eau qui les décape complètement. Sur quelques lignes les tubes se nettoient à l'aide d'un appareil consistant en une tonne horizontale où ils frottent l'un contre l'autre dans l'eau et se nettoient comme les projectiles d'artillerie dans le tonneau à boulets.

Le remplacement des viroles, lorsqu'on change les tubes ou lorsqu'un joint doit être refait, exige les plus grands soins ; elles doivent être polies à l'extérieur pour que l'enfoncement soit plus facile et aussi régulier que possible ; il faut, pour ce travail, des ouvriers spéciaux ayant une grande habitude.

La partie supérieure de la boîte à fumée est celle qui s'altère le plus rapidement par l'action de la chaleur et la fatigue que lui impriment les oscillations de la cheminée. Lorsque les supports qui la rattachent au châssis sont rivés sur les parois latérales, et que les supports de la chaudière ne sont pas à dilatation, ces parois latérales finissent par se fissurer ; on remet de nouveaux supports attachés sur une plus grande surface, ou bien on remplace par des pièces les parties altérées. Le fond de la boîte à fumée se détruit rapidement par oxydation, par suite du contact des cendres, généralement humides, qu'on a souvent la négligence d'y laisser accumuler, au lieu de les enlever à chaque voyage.

La cheminée s'use assez rapidement par oxydation à l'intérieur. On la remplace par tronçons ou en totalité. Il en est de même du cendrier ; celui-ci se déforme lorsqu'on jette le feu, et il devient

souvent nécessaire de le redresser ou même, après un long service, d'y mettre des pièces.

Les accessoires de la chaudière n'exigent pas un entretien bien dispendieux. Les soupapes ont quelquefois besoin d'être rodées, les balances perdent de leur élasticité et se faussent avec le temps ; il faut, lorsqu'on remplace les ressorts de celles-ci, employer des fils d'acier d'une qualité tout à fait supérieure.

Les manomètres exigent un entretien continu, et, jusqu'ici, c'est seulement à cette condition qu'on a pu tirer parti de ces utiles instruments. Sur un chemin de fer d'une certaine étendue il doit y avoir un ou plusieurs ouvriers spécialement occupés, pendant toute l'année, à faire cette réparation. Les avantages que l'on retire des indications du manomètre pour la conduite de la machine, indépendamment des prescriptions de police et de la sécurité, sont assez grands pour qu'on ne recule pas devant ces frais d'entretien.

Les robinets de toute nature doivent être fréquemment visités et rodés.

Les réparations les plus fréquentes de la prise de vapeur sont celles du régulateur, dont le tiroir grippe assez souvent ; celle des pièces qui le commandent et prennent du jeu par suite de la torsion ou des mouvements durs fréquemment répétés ; celle des tuyaux de conduite de vapeur, dont les joints viennent quelquefois à perdre, ou qui s'aplatissent lorsqu'ils sont en cuivre rouge d'une trop faible épaisseur. Le tiroir du régulateur grippe avec d'autant plus de facilité que la vapeur, en entraînant de l'eau, entraîne aussi des matières boueuses qui viennent altérer les surfaces de frottement. Le ressort qui, dans certains systèmes, applique le tiroir sur son siège, peut se relâcher ou se briser, et le tiroir se soulevant lorsqu'il y a refoulement d'air par l'effet de la marche à contre-vapeur, peut rester accroché et ne pas retomber exactement en place. On doit, dans tous les cas, mettre en état, sans retard, tout régulateur qui fuit, car, indépendamment de la perte de la vapeur qui va se condenser dans les cylindres, rien n'est plus dangereux qu'une machine dont le régulateur perd notablement ; elle peut se mettre seule en marche lorsqu'on la tient en stationnement, et s'engager sans conducteur sur les voies de circulation.

Le tuyau d'échappement doit être nettoyé très-souvent, pour que le jeu des valves reste libre ; la réparation la plus ordinaire est celle des axes que portent les valves en guise de charnière, et qui prennent promptement du jeu lorsqu'on n'a pas eu besoin de donner des dimensions suffisantes à la partie carrée. Lorsque le mécanisme qui commande les valves est en dedans de la boîte à fumée, les articulations, les engrenages s'incrudent de cendres de toute nature, et des réparations deviennent nécessaires ; on doit transporter, dès qu'il y a une réparation à faire, tout ce mouvement à l'extérieur.

Dans les pompes alimentaires, les joints forment la partie la plus sensible ; ils doivent être exécutés avec le plus grand soin et réduits au plus petit nombre possible ; les pièces mises en contact doivent être parfaitement dressées et ajustées, et l'épaisseur du mastic intercalé aussi faible que possible. Le presse-étoupes du plongeur exige aussi des réparations assez fréquentes ; les tresses de chanvre doivent être placées avec toute la régularité possible, pour que le serrage soit égal dans toutes les parties ; la multiplicité et l'intensité des chocs rendent les plus grandes précautions nécessaires pour l'entretien de ces organes. On doit visiter souvent les soupapes et roder les boulets ou les clapets sur leurs sièges ; car le dérangement de ces pièces est une des causes les plus fréquentes d'arrêt des machines en service ; la boîte du clapet de refoulement supérieur doit être nettoyée de temps en temps des incrustations qui finissent toujours par y pénétrer, et qui annulent l'effet du clapet. Lorsqu'on place un robinet de sûreté près de la chaudière, au point d'introduction de l'eau, on doit le visiter souvent et s'assurer qu'il peut fonctionner en cas d'accident. Le plongeur s'use par le frottement ; cette usure peut être inégale lorsque la pompe est commandée directement par la crosse du piston, si les glissières laissent trop de jeu à celle-ci, ou si le montage du support de la pompe s'est dérangé ; il devient nécessaire de rectifier le montage et de remettre le plongeur sur le tour ou de le remplacer. L'inégalité d'usure peut être également une cause de réparation pour les plongeurs mis en mouvement par les excentriques.

Il arrive souvent que le petit tuyau qui amène l'eau jusqu'au robinet d'épreuve ou de purge, lorsqu'il n'est pas fixé sur le corps de pompe lui-même, se brise dans les coudes et surtout aux soudures ; il faut attacher le plus grand soin à le réparer, car l'eau se perd en abondance et jaillit de tous côtés ; on ne doit employer que des tuyaux en cuivre de première qualité. Les accidents qu'éprouvent les tuyaux de refoulement et d'aspiration sont dus généralement au défaut de qualité du cuivre et de leurs soudures, qui ne résistent pas aux chocs produits par le jeu des pompes et aux vibrations déterminées par le roulement de la machine ; on peut réparer les soudures mal faites, mais il faut changer les tuyaux de mauvaise qualité.

2° APPAREIL MOTEUR. — Les cylindres sont généralement brisés lorsque la machine vient se heurter contre un obstacle dans une rencontre, ou par suite de déraillement, surtout lorsqu'ils sont placés extérieurement et ne sont protégés, au delà des longerons, que par les saillies de la traverse ; ils sont encore exposés à des ruptures dans leurs parties essentielles, lorsque le piston se démonte ou se brise à l'intérieur, ou même lorsqu'un mécanicien peu soigneux y laisse accumuler trop d'eau, etc. ; quelquefois le couvercle seul se brise et a seul besoin d'être remplacé ; mais, dans tous les autres cas, il faut mettre de nouveaux cylindres, ce qui entraîne une dépense assez considérable ; cependant lorsqu'un cylindre est simplement fendu sur une petite longueur, on peut y rapporter une pièce en bronze. Les cylindres s'ovalisent à la longue, surtout lorsque la disposition du piston n'est pas très-bonne ou lorsque la tige se fausse par suite d'un défaut de montage ; ils se rayent lorsque le piston est trop serré ou garni de segments mal ajustés, ou même lorsque le graissage est insuffisant. Enfin, ils finissent par avoir un diamètre plus grand au milieu qu'aux extrémités ; il devient dès lors nécessaire de les aléser, opération que l'on effectue généralement sur place et sans les démonter ; à l'aide d'un alésoir spécial.

Les cylindres peuvent encore se briser lorsqu'on a négligé, dans

le montage, de ménager un espace libre suffisant à chaque extrémité de la course du piston, et que les limites de cette course viennent à varier par suite de l'usure des coussinets qui déterminent un allongement ou un raccourcissement de la bielle, ou lorsque les coussinets de celle-ci se desserrent pendant la marche. Ils s'altèrent également par l'oxydation pendant le séjour aux ateliers, ou dans les remises, lorsqu'on n'a pas pris soin de les graisser avec du suif.

Les couvercles se brisent quelquefois sans que les cylindres soient détériorés; on doit se féliciter lorsque l'accident se réduit à cette rupture, et on doit par cela même éviter de donner aux couvercles trop d'épaisseur, pour en rendre la rupture plus facile, et multiplier les chances de conservation du cylindre. Il arrive souvent que le joint du cylindre vient à manquer; il en est de même pour celui du couvercle de la boîte à tiroir; on doit les refaire avec beaucoup de soin, en leur donnant le temps de sécher lorsqu'ils sont faits au minium ou au blanc de céruse, et surtout au mastic Serbat, dont le séchage est plus long.

La table du tiroir s'use souvent d'une manière inégale et se trouve rayée ou cannelée au bout d'un certain temps de service, soit parce que le graissage a été insuffisant, soit parce que la fonte du cylindre ou le métal du tiroir n'est pas homogène et n'a pas une égale dureté; on rend souvent à la table des tiroirs son poli en remplaçant un tiroir en fonte tendre ou en bronze par un tiroir en fonte dure; mais souvent aussi il devient nécessaire de la redresser. On a quelquefois été obligé de rapporter une plaque de métal sur toute l'étendue de la table du tiroir pour prolonger la durée du cylindre compromis par des accidents de cette nature et par les réparations successives qui en avaient été la conséquence.

Lorsque les cylindres sont extérieurs au châssis, ils prennent généralement du jeu sur leurs attaches; il est nécessaire de combattre pied à pied cette tendance et d'arrêter ses progrès; il faut, pour cela, relier les cylindres entre eux par de fortes entretoises et tâcher de les rattacher à la boîte à fumée; il faut éviter surtout

avec le plus grand soin de laisser prendre du jeu aux boulons d'attache.

Les pistons s'altèrent par l'amincissement des plateaux aux points où portent les segments, par le jeu qui se produit dans les assemblages: les pas de vis se matent et les filets s'arrachent, lorsqu'on n'a pas le soin de faire les vis ou les boulons en acier; les plateaux se brisent par suite de ces avaries, ou par suite de la pression de la vapeur qui excède leur résistance, ou par les causes accidentelles qui déterminent la rupture des cylindres. Les segments et les ressorts se brisent lorsqu'ils sont trop tendus, ou bien ils cessent de fonctionner parce qu'ils perdent leur élasticité, ou parce que des matières terreuses entraînées par la vapeur avec l'eau liquide viennent les empêcher, et il se déclare des fuites qui deviennent nuisibles à la marche de la machine. Des accidents de même nature sont occasionnés par l'inégalité d'usure des cylindres, soit dans le sens transversal, soit dans le sens longitudinal. Il est donc nécessaire d'apporter à leur entretien des soins minutieux et de vérifier fréquemment leur état.

Les tiges de piston se faussent ou se rayent, lorsque le montage est défectueux ou lorsque le presse-étoupes est mal disposé ou trop serré; il en résulte quelquefois des ruptures de la tige qui entraînent celles du cylindre ou tout au moins de son couvercle. La crosse ou coquille du piston s'use par le frottement sur les glissières, surtout lorsque le ballast est pulvérulent et de nature quartzeuse, ou lorsque le graissage est insuffisant; on compense l'usure par le rapprochement des glissières ou en changeant les patins de la coquille qui sont généralement rapportés; un défaut de montage accélère cette usure, et il faut le faire disparaître le plus tôt possible. Lorsque la pompe est commandée par un bouton fixé sur la coquille, la résistance du plongeur tend à le fausser et peut déterminer une usure inégale des parties de frottement; ce bouton peut lui-même s'ébranler lorsqu'il n'est pas venu de forge sur la coquille. La clavette qui fixe la tige du piston sur la coquille peut prendre du jeu et s'ébranler. Ces diverses avaries doivent être surveillées avec soin et réparées sans retard, car leur effet devient de plus en plus nuisible.

Les glissières s'usent sous l'influence des mêmes causes que les coquilles; l'usure devient surtout rapide lorsqu'elles grippent et chauffent; elles peuvent se fausser par suite des chocs que la machine éprouve, en cas de rencontre ou de déraillement, ou par suite des tiraillements auxquels toutes les parties de la machine sont incessamment soumises. On les redresse et on compense l'usure en amincissant les cales placées à leurs extrémités, en remplaçant par des glissières en acier les glissières en fer, s'il en a été placé dans la construction première. Il faut, du reste, s'appliquer à proportionner la dureté des parties de la coquille à celle des parties frottantes des glissières, afin d'assurer à celles-ci la plus longue durée possible et d'éviter le grippement. Les glissières ne se conservent, du reste, qu'à la condition d'un graissage soutenu et convenablement fait.

Les bielles se brisent ou se faussent, par suite des efforts accidentels auxquels elles sont soumises, surtout par les efforts de torsion qui résultent du déplacement des essieux moteurs dans leurs plaques de garde et de l'irrégularité ou de l'altération du montage; les bielles d'accouplement sont, en outre, fatiguées par le passage des roues dans les courbes. Les coussinets s'usent d'une manière normale par le frottement, ou accidentellement lorsqu'ils grippent sur les boutons de manivelle, par excès de serrage ou par suite de l'interposition de grains de sable ou autres corps durs. On doit redresser avec soin les bielles faussées, les ramener à leur longueur normale et faire disparaître les défauts de montage; on resserre les coussinets au moyen des clavettes, après les avoir ajustés sur le bouton de manivelle, lorsqu'ils ont perdu leur forme; on compense une usure plus grande par des cales rapportées sur leur face plane, et enfin on les remplace. Les coussinets doivent venir s'appuyer l'un sur l'autre, directement ou par l'intermédiaire de cales, pour que le mécanicien ne leur donne pas trop de serrage. Lorsque les petites têtes de bielles motrices sont fixées sur la coquille au moyen d'un simple boulon, sans coussinets, on compense le jeu qu'elles peuvent prendre en rapportant dans l'œil où s'engage ce boulon une bague en bronze ou en acier.

Dans les machines à cylindres extérieurs, le bouton de manivelle peut s'ébranler dans le moyeu; lorsqu'on ne peut pas le fixer, soit en le chassant plus fortement et en matant l'extrémité placée à l'intérieur de la roue, soit par l'application d'une clavette, il faut le remplacer par un nouveau bouton ajusté avec plus de soin; il en est de même pour les boutons des manivelles d'accouplement. Les essieux coudés, dans les machines à cylindres intérieurs, se rompent dans les coudes sous l'action des forces alternatives qui les sollicitent, par la réaction des chocs ou des efforts appliqués à la circonférence des roues; on peut prolonger la durée d'un essieu coudé en consolidant les bras de la manivelle par des frettes en fer, mais il faut prévenir à temps la rupture, en le remplaçant si on a des doutes sur sa solidité. Lorsque les boutons de manivelle chauffent et grippent, on rétablit leur surface à la lime et par le polissage; quelquefois on a obtenu de bons résultats en étamant les parties grippées.

Le mécanisme de la distribution est une des parties de la machine qui exige le plus de soin et qui donne lieu aux réparations les plus fréquentes. Les articulations se matent, les tourillons, les coussinets, et en général toutes les parties frottantes s'usent et prennent du jeu, les arbres de distribution se tordent et se déforment, les barres et leviers se faussent, etc. Il faut, dans l'intérêt de la conservation de ces pièces, et pour éviter des perturbations dans la distribution, empêcher par un entretien assidu le progrès de ces altérations, qui entraîneraient promptement la réparation générale du mouvement. Les poulies d'excentriques se décalent par suite du matage de la poulie elle-même, de la clef ou de la rainure tracée sur l'essieu. Les colliers d'excentriques s'usent par le frottement, surtout lorsqu'ils grippent par excès de serrage ou défaut de graissage; il faut les resserer, à mesure que le jeu se manifeste, les aléser lorsqu'ils se sont ovalisés, les remplacer enfin lorsqu'ils se brisent ou deviennent trop faibles. En reserrant les colliers d'excentriques on diminue la longueur de la barre et on altère la distribution; lorsque le mécanisme n'est pas pourvu d'organes propres à rattraper la différence de longueur, on y

pourvoit en rapportant des cales au point d'attache de la barre sur le collier. Les déplacements de l'essieu moteur sous la machine tendent à user les bords de la gorge par laquelle le collier embrasse la pièce d'excentrique; cette usure peut hâter l'instant auquel le remplacement des colliers devient nécessaire. Les barres qui s'appliquent sur la coulisse de Stephenson s'altèrent par l'ovalisation du trou qui saisit les tourillons de la coulisse; on les répare au moyen de bagues en acier; les unes et les autres se faussent par accident ou par suite du dérangement général du montage; on doit les vérifier fréquemment. L'arbre de distribution, dans les machines à distribution indirecte, se tord et se déforme, les leviers se faussent, et le bouton d'application de la barre d'excentrique pour les uns, l'œil qui reçoit le bouton d'assemblage de la tige du tiroir pour les autres, s'usent et prennent du jeu; les tourillons et les coussinets de support de l'arbre de distribution s'usent également; toutes ces parties doivent être entretenues avec soin. Le défaut de graissage aggrave, du reste, ces causes d'usure. La coulisse s'use particulièrement dans les parties où porte habituellement le coulisseau et aux points d'attache avec les barres d'excentrique et les bielles de suspension; quelquefois, mais rarement, elle s'ouvre lorsque le coulisseau est au point mort. Le coulisseau s'use aussi très-promptement; l'œil qui reçoit le bouton de la tige du tiroir s'ovalise ainsi que ce bouton. Les diverses parties de la coulisse exigent donc un entretien continu, surtout lorsque les pièces frottantes ne sont pas en métal très-dur. Si les tentatives que l'on fait maintenant, dans divers ateliers, pour contre-balancer la pression considérable que la vapeur exerce sur les tiroirs et pour annuler en grande partie le frottement et les efforts qui en sont la conséquence, étaient suivies de succès, on gagnerait beaucoup pour la conservation de toutes les pièces de la distribution, et c'est sous ce point de vue surtout qu'il faut continuer de pareilles recherches.

La tige du tiroir est une pièce qui donne lieu à des réparations assez fréquentes; lorsque la transmission du mouvement des excentriques est indirecte, les articulations s'usent, la bielle d'ar-

ticulation et la tige elle-même se faussent; celle-ci peut se briser lorsque le tiroir grippe ou que le presse-étoupes est trop serré; quand le tiroir est commandé par la coulisse, indépendamment de l'usure de l'articulation qui relie la tige au coulisseau, et des accidents ou dérangements qui la faussent, la liaison de la tige proprement dite avec la pièce qui lui sert de guide donne lieu souvent à des avaries, l'emmanchement qui présente le plus de garanties de solidité est celui qui s'effectue par l'intermédiaire d'un étrier, lorsque le guide se compose d'une pièce rigide emprisonnée entre des coussinets fixes; ces coussinets eux-mêmes s'usent et ont besoin d'être fréquemment rajustés; il convient de les rendre indépendants de leurs supports pour pouvoir les resserrer sans déplacer l'axe du guide. Le cadre qui termine la tige et qui embrasse le tiroir, se fatigue par la dilatation de celui-ci, qu'il doit exactement embrasser, et par les efforts qu'il supporte et qui tendent à l'ouvrir, surtout lorsque le tiroir grippe sur sa table. Les altérations de la tige et du cadre sont plus fréquentes, lorsque celui-ci ne porte pas vers l'avant de la machine un appendice servant de guide. Le tiroir s'use d'une manière régulière par le frottement, ou d'une manière inégale lorsqu'il grippe ou lorsque le métal qui le compose ou la fonte du cylindre n'est pas homogène; il faut réparer avec soin la surface de frottement, pour éviter des altérations qui compromettraient la conservation du tiroir et celle du cylindre, et pour éviter des pertes de vapeur assez considérables.

L'appareil de changement de marche fatigue beaucoup, par suite des efforts considérables auxquels il est soumis dans certains cas, par exemple, lorsque les presse-étoupes des tiges de tiroir sont trop serrés, ou lorsque le régulateur perd et maintient les tiroirs en charge; il fatigue surtout dans les machines à coulisse, pour résister aux efforts de la composante verticale dus à l'inclinaison de la coulisse aux extrémités de course. La réaction exercée par le mécanisme de la distribution sur l'appareil de changement de marche lui imprime des vibrations qui accélèrent l'usure de ses différentes parties. Quelquefois, la bielle de transmission est

courbée pour éviter des pièces qu'elle rencontre sur sa direction et elle se déforme; l'arbre de transmission se tord ou se déforme; les leviers de transmission se faussent et toutes les articulations s'ovalisent; les crans du secteur et le verrou qui s'y engage se matent. Toutes ces altérations doivent être corrigées avec soin quand elles commencent à se manifester. Les boulons d'articulation et les trous qui les reçoivent, ainsi que le secteur et son verrou, doivent être acérés.

3° CHASSIS ET SUPPORTS. — On a vu que le châssis se compose de longerons ou brancards, réunis par des traverses et reliés aux différentes parties de la machine; il est nécessaire qu'il conserve exactement sa forme, de laquelle dépendent le parallélisme des essieux, le maintien des roues d'un même côté dans un même plan parallèle à l'axe de la voie, l'écartement des cylindres et la conservation des axes communs du piston, des glissières et des bielles motrices, la conservation des tiges du mouvement de la distribution parallèlement à l'axe de la voie, et celle des arbres de transmission perpendiculairement à ce même axe. Les causes qui tendent à déformer le châssis et à fausser le montage des différentes pièces qui s'y rattachent, en supposant ce montage parfait au moment où la machine sort de l'atelier, sont : la dilatation de la chaudière, qui tend à déterminer l'allongement des longerons et à les faire gauchir, lorsque cet allongement ayant eu lieu par voie d'étirage du métal, la chaudière se refroidit et se contracte; le passage dans les courbes, et surtout dans les changements et croisements de voies; les tiraillements intérieurs produits par l'action alternative de la vapeur sur les deux fonds des cylindres et par la réaction de la pression, supportée par le piston, sur les plaques de garde; les oscillations produites par les actions perturbatrices intérieures, lorsqu'elles ne sont pas suffisamment équilibrées; la réaction des inégalités de la voie sur les plaques de garde et les longerons; enfin, les accidents de toute nature résultant d'une collision ou d'un déraillement. Le châssis peut résister à ces causes de dérangement dans sa forme, mais il

peut fléchir et se gauchir momentanément, les appendices et entre autres les plaques de garde peuvent se fausser, les attaches des pièces qu'il doit maintenir dans une position invariable peuvent se relâcher. Tout cela donne lieu à des réparations qui doivent être faites avec beaucoup de soin, et qui ne sont généralement possibles que lorsque la machine entre en grande réparation, pour être complètement démontée. On redresse les pièces faussées, on consolide les attaches, on renforce les parties trop faibles et qu'il importe de rendre inflexibles, et on ajoute de nouveaux moyens de liaison; on remplace ou on répare les pièces qui ont été brisées; on rétablit enfin dans le montage le parallélisme ou la perpendicularité et la position de tous les axes. Lorsque le bois entre dans la composition des châssis, il se pourrit lorsqu'on n'a pas eu soin de le préserver des infiltrations d'eau; on le remplace, en ayant soin de fermer tout accès à l'eau dans les surfaces de contact et dans les trous de boulons ou de rivets. Les plaques de garde se matent lorsqu'elles servent de guide pour les boîtes à graisse; dans ce cas, il faut y ajouter des guides rapportés en fonte ou en fer; elles peuvent se gauchir par la réaction de la voie sur les roues; les plaques de garde des roues motrices peuvent se briser sous l'action des forces perturbatrices que développe l'inertie des pièces en mouvement, et dont elles transmettent l'effet au châssis. Les rivets qui assujettissent les plaques de garde aux longerons se relâchent, et ont besoin d'être resserrés ou remplacés, surtout lorsque la machine est fatiguée par la circulation dans des courbes d'un petit rayon. Les extrémités des plaques de garde qui reçoivent les entretoises longitudinales, et que l'on fait souvent trop faibles, peuvent se briser, surtout lorsque les ouvriers du dépôt prennent ces entretoises comme point d'appui pour faire marcher la machine à la pince.

La traverse d'avant se fend lorsque le bois n'est pas parfaitement sec; elle se brise dans les chocs ou, comme on dit en style d'atelier, lorsque la machine donne ou reçoit un *coup de tampon*; il conviendrait, dans ce cas, pour consolider ces traverses, de les construire de deux ou trois morceaux séparés par des feuilles de

tôle, et de boulonner l'ensemble qui prendrait alors une grande rigidité. Les chasse-pierres exigent peu d'entretien; mais, en cas d'accident, ou lorsqu'ils rencontrent un obstacle sur la voie, ils se faussent ou se brisent avec une grande facilité.

Les traverses d'arrière n'éprouvent guère d'avaries qu'en cas d'accident, ou lorsqu'elles servent de point d'attache à la barre de traction et que la machine n'est pas convenablement équilibrée par des contre-poids; dans ce dernier cas, le support du boulon d'attache, qu'il soit fixé à la chaudière ou à des entretoises spéciales, est l'objet de réparations dispendieuses, ainsi que le boulon et la barre d'attelage qui prennent rapidement du jeu l'un dans l'autre.

Les ressorts de suspension s'altèrent assez promptement par l'usage, lorsque la qualité de l'acier n'est pas parfaite; ils perdent leur flèche initiale, et il devient nécessaire de recintrer et de retremper les feuilles. L'altération des ressorts est surtout rapide lorsqu'ils ont été mal construits et qu'ils fonctionnent trop près de leur limite d'élasticité; dans ce derniers cas, il y a souvent des ruptures de feuilles, indépendamment de celles qui ont lieu par défaut de qualité de la matière. On ne doit pas s'attacher seulement à proportionner les ressorts à la charge qu'ils ont à supporter; il faut encore s'assurer fréquemment si la suspension reste bien réglée et si chaque ressort n'éprouve pas de surcharges résultant d'une mauvaise répartition du poids.

Les coussinets des boîtes à graisse s'usent par le frottement des fusées, surtout lorsque le défaut de graissage ou l'introduction de grains de sable ou de limaille de fer les fait gripper et chauffer; lorsqu'ils sont trop serrés et pincent la fusée; lorsque les rainures s'effacent et que les lumières se bouchent, ou lorsque le montage des essieux du châssis se dérange: les coussinets se mament lorsqu'ils prennent du jeu dans la boîte à graisse, et se brisent lorsqu'ils deviennent trop minces; on les répare ou on les remplace. Les boîtes à graisse elles-mêmes se mament contre les guides et se brisent souvent lorsque le jeu devient trop considérable, ou lorsqu'elles sont soumises à des chocs ou à des efforts

violents, principalement lorsque la machine n'est pas équilibrée. On rachète quelquefois le jeu en rapportant des épaisseurs en tôle; mais ce qu'il y a de mieux à faire, c'est d'appliquer des coins de serrage.

Les essieux, tels qu'on les fabrique maintenant, donnent lieu à peu de réparations, à moins d'accidents qui les brisent ou qui les faussent; les fusées exigent seules un peu d'entretien lorsqu'elles grippent sous l'influence des causes qui font chauffer les boîtes à graisse.

Les roues donnent lieu, au contraire, à un travail de réparation continuel et qui constitue le chapitre le plus important du budget d'un atelier de chemin de fer. Les moyeux peuvent se fendre lorsqu'ils sont trop faibles et lorsque l'emmanchement de l'essieu est trop serré, surtout si les fusées viennent à chauffer fortement; on prévient ou on répare cet accident au moyen de frettes en fer appliquées sur les deux côtés du moyeu, fig. 1 et 2, pl. 26 et 43. Il arrive aussi que les rais noyés dans la fonte se mament et s'ébranlent, ou qu'ils se fendent dans les angles lorsqu'ils sont formés de fer à T replié en forme de secteur. La jante peut se briser, principalement aux points de soudure. Les rivets qui fixent le bandage sur la jante s'ébranlent et se coupent en prenant du jeu; le bandage se lamine et se relâche en cessant de serrer la jante. Ces diverses causes d'altérations sont accidentelles; on doit y porter remède dès qu'elles sont signalées.

La cause principale d'entretien des roues est l'usure progressive des bandages par leur frottement sur les rails; on les répare en les mettant sur le tour et en leur rendant leur profil normal, puis en les remplaçant lorsque leur épaisseur a été réduite successivement par le service et par le travail du tour. Il arrive, en outre, assez fréquemment que les bandages se brisent pendant la marche, surtout lorsqu'ils sont neufs et qu'ils ont reçu trop de serrage; la rupture a lieu généralement dans la soudure. On peut vérifier l'état des soudures suspectes en découpant le bandage avec de l'acide sulfurique faible; l'acide pénètre dans les parties non soudées, y dissout l'oxyde de fer et forme des efflorescences cristallines qui permettent de juger de l'état des soudures.

4° TENDER. — Les roues du tender et les ressorts de suspension donnent lieu aux mêmes réparations que les organes correspondants des machines. Les réparations analogues du châssis sont d'une importance beaucoup moindre, à moins que la nature des altérations dans le montage ne soit telle que la position des essieux s'en trouve altérée. La caisse donne lieu à des réparations assez importantes; les rivets s'ébranlent et causent des fuites que l'on fait disparaître en les matant ou en les remplaçant; la tôle s'use par l'oxydation ou dans certaines parties par le frottement du combustible; dans tous les cas, ces réparations sont simples et peu dispendieuses. Les tuyaux de prise d'eau sont sujets aux mêmes réparations que les tuyaux d'aspiration de la machine. Le frein donne lieu à un entretien qui, généralement, n'est pas fait avec assez de soin et d'assiduité; indépendamment de l'usure du mécanisme et des accidents qu'il peut éprouver, il est nécessaire de changer assez fréquemment les sabots en bois, ou d'y rapporter des cales pour les user jusqu'à la dernière limite.

§ 3. — Outillage et personnel.

1° OUTILLAGE. — Il est très-important, lorsqu'on doit organiser le service d'un chemin de fer, d'être fixé sur l'importance et la nature de l'outillage dont les ateliers devront être pourvus; on ne saurait, à cet égard, donner des préceptes généraux, car il faudrait tenir compte de divers éléments qui ne peuvent être appréciés que dans chaque cas particulier. Nous nous contenterons de citer quelques exemples qui pourront servir de point de départ. Nous prendrons pour cela deux chemins de fer dont l'exploitation est organisée complètement, et dont l'outillage peut être considéré comme suffisant dans l'état actuel de leur trafic: ce sont les chemins de fer de l'Est et du Nord, dont nous avons fait connaître les conditions spéciales d'exploitation. Nous avons compris, dans notre statistique, l'outillage spécial des ateliers de voitures, parce que la réparation des voitures emprunte une grande partie de son travail aux ateliers de forge,

de tours et d'ajustage, qui dépendent de l'atelier des machines; la division peut bien s'établir pour la comptabilité des dépenses, mais il serait difficile de l'établir pour l'outillage et même pour le personnel; nous aurions, sans cela, dressé un tableau trop ou trop peu complet. La même observation s'applique au petit outillage réparti dans les dépôts, et qui concourt, sous la forme de petites réparations, à l'entretien général du matériel. Nous avons, pour ne pas tomber dans des détails trop minutieux, groupé les machines-outils et appareils divers, par espèces qui comprennent tous les outils construits pour une même destination, sans avoir égard aux dimensions, aux différences de forme et aux usages auxquels on les applique; chaque groupe un peu nombreux représentera donc un assortiment d'appareils variés.

Outillage et étendue des ateliers et dépôts du Chemin de fer de l'Est en 1858.

1^o ATELIERS.

DÉSIGNATION DES ATELIERS.	ÉPERNAV (Machines).	MONTIGNY (Machines).	MONTIGNY (Carrosserie).	MULHOUSE (Machines).	LA VILLETTE (Carrosserie).	TOTAL.
Nombre des machines à vapeur.....	2	2	0	1	1	7
Force nominale collective en chevaux.....	64	40	0	16	18	138
Nombre de chaudières à vapeur.....	3	3	0	1	2	9
Fours à fondre ou à cémenter.....	3	1	0	3	0	9
Fours à roues ou à souder.....	4	1	0	1	0	6
Forges marchales.....	43	28	6	14	14	107
Pilons et machines à forger.....	4	2	0	0	0	6
Tours doubles à roues... de parallèles (grands)	10	3	0	4	4	25
de divers.....	32	22	5	12	6	97
Machines à planer plus de 1 m q.....	3	1	0	3	0	7
Machines à buriner (grande dimension).....	2	2	0	1	0	5
Lineuses diverses.....	17	12	2	7	3	41
Machines à percer et aléser.....	15	7	6	11	7	46
Gros découpoirs.....	2	2	0	2	0	6
Scies circulaires.....	1	0	8	0	4	13
de à débiter.....	0	0	1	0	1	2
Machines à tarauder..... de à fraiser.....	3	3	0	3	1	12
de diverses.....	10	2	0	9	2	23
Meules à polir..... de à affûter.....	2	0	0	0	0	2
Machines à travailler le bois.....	4	4	2	4	6	20
Crues.....	0	0	6	0	7	13
Chariots roulants.....	7	3	0	3	1	14
Plaques tournantes (grandes).....	2	1	4	2	8	17

DÉSIGNATION DES ATELIERS.	ÉPERNAV (Machines).	MONTIGNY (Machines).	MONTIGNY (Carrosserie).	MULHOUSE (Machines).	LA VILLETTE (Carrosserie).	TOTAL.
Plaques tournantes (petites de service).....	26	7	»	3	6	42
Longueur d'arbres de transmissions.....	130 m	33	33	60	90	370
Nombre d'étaux.....	334	100	84	90	73	681
Etablis de menuisier.....	20	3	115	6	112	256
Longueur de chemins de fer pour le service.....	4,060 m	1,990	3,463	1,400	7,189	18,104 k
Surface couverte.....	14,510 m ²	3,700	6,403	5,416	16,343	45,906
de totale.....	40,477 m ²	16,800	17,230	21,910	48,973	144,710
Nombre moyen d'employés, etc.....	703	260	441	251	357	1,993
Place de montage pour machines, tenders ou wagons.....	36 Loc. 30 Tend.	34	70 Voit.	32 Loc. 10 Tend.	184 Voit.	»

2^o DÉPÔTS ET STATIONS DE PRISES D'EAU.

DÉSIGNATION DES DÉPÔTS.	SEPT GRANDS DÉPÔTS.	SIX DÉPÔTS secondaires.	DIX-HUIT PETITS DÉPÔTS.	A DIVERSES STATIONS SANS DÉPÔTS.	TOTAL.
Locomotives abritées.....	231	78	72	»	401
Rotondes pour machines.....	15	2	»	»	17
Plaques tournantes.....	32	12	36	»	80
Grues à lever les machines.....	7	2	»	»	9
Colonnes et grues hydrauliques pour remplir les tenders.....	28	17	54	46	145
Machines à vapeur de 2 à 4 chevaux.....	4	3	18	23	48
Forges fixes.....	17	4	»	»	21
Machines-outils.....	13	2	»	»	15
Etaux d'ajusteurs.....	131	31	36	»	198
Longueur de voies..... (kilom.)	21,40	8,60	3,60	2,30	35,90
Surface totale..... (m q)	181,000	61,000	43,000	2,300	288,300
de couverte.....	29,000	7,700	10,800	2,300	49,800
Bascules à régler les ressorts de suspension des locomotives.....	4	0	0	0	4
Nombre d'employés (y compris les mécaniciens de la ligne.....	1,364	454	108	»	1,926

Le tableau suivant résume la composition et l'étendue des divers établissements consacrés au service du matériel et de la traction du réseau de l'Est.

	COKE.	AFFILIÉS.	DÉPÔTS.	MAGASINS.	TOTAL.
Nombre de machines à vapeur....	6	7	48	»	61
Force motrice collective	70	153	492	»	405
Nombre de fours	264	15	»	»	279
Nombre de feux de forges mar- chales	»	107	24	»	128
Machines-outils	18	518	13	»	531
Grues	»	14	9	2	25
Chariots roulants	»	17	»	2	19
Appareils hydrauliques	»	»	145	»	145
Plaques tournantes... (grandes... (petites.....)	21 71	42 42	»	9 4	152 117
États d'ajusteurs	»	671	492	»	835
Établissements de menuisier	»	238	»	»	238
Surface totale en hectares.....	22.00	43.57	29.71	2.77	60.85
d° couverte d°	0.54	4.59	4.90	0.72	10.55
Longueur de voie ordinaire en kilomètres.....	4,145	18.10	53.71	2.00	47.95
Cheminées des machines, fours, etc.	12	7	48	»	67
Nombre moyen d'ouvriers, etc.....	1,095	1,095	1,056	40	3,064

Tableau de l'outillage des ateliers du Chemin de fer du Nord.

DÉSIGNATION des MACHINES ET APPAREILS.	La Chapelle.	Amiens.	Lille.	Tergnier.	Saint-Martin.	TOTAUX.
	Machines à vapeur. { Nombre de machines... { puissance nominale des { machines en chevaux.	2	1	1	1	1
Petits chevaux d'alimentation.....	60	16	23	23	40	163
Locomotive.....	3	1	»	»	»	4
Locomobile.....	1	»	»	»	»	1
Ponts roulants... { Atelier des machines... { Atelier des voitures.....	5	1	2	1	1	8
Grues à pivot pour lever les machines.....	5	2	1	1	1	10
Grues roulantes	1	2	1	»	1	5
Treuil	8	1	1	2	2	14
Treuil pour lever les caisses des voitures.	4	1	5	»	»	8
Grues diverses	1	»	1	»	»	2
Appareils à descendre les roues.....	26	5	2	2	5	38
Bascules à 6 et 12 ponts pour régler les ressorts.....	1	2	1	1	1	6
Bascules de 500 kil. et au-dessus	2	1	2	1	1	7
Ventilateurs.....	5	1	3	1	2	10
Forges à 2 feux.....	3	1	1	1	1	7
Forges simples.....	25	5	7	4	5	40
Forges volantes	10	1	3	»	»	14
Forges boulonnnières.....	22	7	9	2	1	41
États à chaud	2	»	2	»	»	4
Fours à réverbère	8	2	4	2	2	16
Marteaux pilons	5	»	»	»	»	5
Martinets à vapeur	2	»	1	»	»	3
Marteaux à refouler	2	»	»	»	»	2
Fours à chauffer les bandages.....	5	»	»	»	»	5
Forge à désembaître les bandages.....	1	»	»	»	1	2
Machines à cintrer et mandriner les bandages	2	»	»	»	2	4
Cuves à refroidir les bandages.....	2	»	»	»	1	3
Presses à caler et décaler les roues.....	2	1	1	»	1	5

DÉSIGNATION des MACHINES ET APPAREILS.	La Chapelle.	Amiens.	Lille.	Tergnier.	Saint-Martin.	TOTAUX.
Meules..... (Grandes.....)	5	»	1	»	1	7
Meules..... (Petites.....)	17	2	5	4	4	32
Marbres.....	21	1	6	4	4	36
Tours doubles pour roues motrices.....	4	1	1	»	1	7
Tours doubles pour roues de supports et tenders.....	6	»	1	»	1	8
Tours doubles pour roues de wagons.....	11	1	1	1	2	16
Tours simples pour roues de machines et tenders.....	»	1	»	1	»	2
Tours à centrer les roues.....	2	»	1	»	1	4
Tours à banc coupé (additionnels ou simples)	4	1	»	1	1	7
Tours parallèles et à fileter.....	15	5	5	5	4	30
Tours simples.....	38	2	2	1	1	54
Tours sphériques.....	2	»	1	»	»	3
Machines à tarauder.....	9	1	1	1	1	15
Machine à tailler les écrous.....	1	»	»	»	»	1
Machines à percer radiales.....	4	»	»	»	1	5
Machines à percer et à aléser.....	1	1	1	1	1	5
Machines à percer.....	25	4	5	1	2	35
Machines à aléser horizontales.....	5	»	»	»	»	5
Machines à aléser les cylindres sur place.....	3	3	3	»	1	10
Machines à fraiser les cylindres sur place.....	1	1	1	»	1	4
Machines à mortaiser.....	8	1	1	1	1	12
Machines à raboter.....	26	6	4	4	5	45
Machines à tailler les coulisses.....	2	»	»	»	»	2
Lapidaires.....	1	1	1	»	1	4
Étaux d'ajusteurs.....	575	91	117	72	38	715
Cylindre à décaper les tubes.....	1	»	»	»	»	1
Bac à laver les tubes.....	1	»	»	»	»	1
Scie circulaire à récéper les tubes.....	1	»	»	»	»	1
Tour à fraiser et à ébarber les tubes.....	1	»	»	»	»	1
Presses à essayer les tubes.....	1	»	»	»	1	2
Presses à essayer les chaudières.....	2	1	»	»	1	4
Fours à chalumeau.....	10	2	2	2	2	18
Banc à étirer les tubes.....	1	»	»	»	1	2
Machines à cisailer et à poinçonner.....	7	5	1	»	1	12

DÉSIGNATION des MACHINES ET APPAREILS.	La Chapelle.	Amiens.	Lille.	Tergnier.	Saint-Martin.	TOTAUX.
Fours à chauffer les lames de ressorts pour la trempe.....	1	»	»	»	1	2
Fours à chauffer les feuilles pour faire les étoquiaux.....	1	»	»	»	»	1
Laminoirs à étirer les feuilles et à faire les étoquiaux.....	1	»	»	»	1	2
Machines à cintrer les feuilles de ressorts.....	1	»	»	»	1	2
Cuves pour la trempe des ressorts.....	1	»	»	»	1	2
Machines à essayer les ressorts.....	1	»	»	»	»	1
Fourneaux à fondre le cuivre.....	5	»	»	»	»	5
Étuve pour sécher les moules.....	1	»	»	»	»	1
Cubilot.....	1	»	»	»	»	1
Moulin à sable.....	1	»	»	»	»	1
Cuves pour la trempe des pièces de machines	2	1	»	»	»	3
Tours à bois.....	2	»	»	»	»	2
Machines à raboter les coins et à faire les mouleurs.....	2	»	»	»	1	5
Machines à fraiser les coins.....	2	»	»	»	2	4
Scie à débiter les bois en grume.....	1	»	»	»	»	1
Scies circulaires.....	10	»	»	»	1	11
Scie à débiller.....	1	»	»	»	»	1
Scie à découper.....	1	»	»	»	»	1
Machines à raboter les bois.....	1	»	»	»	»	1
Etablis de menuisier.....	86	3	17	2	17	125
Machines à broyer les couleurs.....	2	»	»	»	1	3

Nous ne chercherons pas à décrire les divers appareils mécaniques qui composent l'outillage d'un atelier de chemin de fer ; notre cadre ne le comporte pas, et nous nous trouverions entraîné à faire un travail auquel il serait difficile d'assigner des bornes.

Nous ferons remarquer seulement que, dans un atelier de réparations, encore plus que dans un atelier de construction, on doit s'appliquer à rendre toutes les manœuvres de force aussi simples

que possible ; des pièces à réparer, telles que des roues à tourner, des cylindres à aléser, exigent moins de travail que des pièces neuves à ébaucher et finir ; il faut éviter que les frais de mise en place sur les machines-outils atteignent des proportions trop considérables par rapport aux frais du travail d'ajustage. On doit de même s'appliquer à ce que l'action des machines-outils, par l'énergie de leur action, soit aussi prompte que possible. Nous citerons spécialement, à ce point de vue, des tours à roues de wagons construits depuis quelques années par M. Calla, où les arbres de transmission passent sous le plancher de l'atelier, de telle sorte qu'on peut amener les roues, en les faisant rouler sans effort, presque en regard des pointes et les mettre en place avec la plus grande facilité ; ces tours sont constitués en outre pour enlever des copeaux du poids de 400 à 500 grammes le mètre courant ; ils deviennent ainsi très-expéditifs et peu coûteux de main-d'œuvre.

2° PERSONNEL. — Le personnel employé dans un atelier de réparation d'un chemin de fer est très-nombreux et surtout très-varié dans sa composition ; on y rencontre des ouvriers de presque toutes les professions : forgerons, chaudronniers, fondeurs en métaux, ajusteurs, tourneurs, monteurs, menuisiers, charrons, selliers, peintres, ferblantiers, etc., indépendamment des employés de bureau, agents comptables, gardes-magasins, surveillants et hommes d'équipe.

Nous n'essaierons pas de donner la statistique du personnel employé dans nos ateliers principaux ; on le compose au fur et à mesure des besoins, il varie suivant l'importance et la nature des travaux. On doit cependant éviter de trop fréquentes variations ; les travaux de réparation et de construction d'un matériel de chemin de fer exigent dans chaque profession une certaine spécialité, une habitude de précision qu'on ne trouve pas toujours parmi les ouvriers qui sortent des ateliers particuliers, à moins que ces ateliers ne soient affectés spécialement à la construction des machines locomotives. On doit donc éviter les variations dans le nombre des ouvriers, et on peut pour cela se créer des travaux

utiles, mais non pressés, tels que construction de quelques machines neuves ou tenders, modifications de systèmes de machines, construction ou transformation de wagons, etc., afin de donner de l'occupation aux ouvriers aux époques où l'importance des réparations diminue.

On doit s'appliquer en outre à composer le personnel d'ouvriers d'habitudes sédentaires et régulières, vivant en famille, qui finissent par se considérer comme faisant partie du personnel permanent de la Compagnie du chemin de fer, y trouvant un travail assuré pour eux et une carrière pour leurs enfants. On peut éviter ainsi ces dérangements périodiques, ces chômages en quelque sorte hebdomadaires qui sont désastreux, surtout pour un atelier de chemin de fer où la besogne est toujours pressée.

On remarque sur quelques chemins de fer diverses institutions qui méritent de fixer l'attention de toutes les personnes qui ont à établir un nombreux personnel ; nous ne parlerons pas ici des caisses de secours en cas de maladie ou d'accident et des caisses de retraite que l'on trouve dans la plupart des grands établissements industriels ; mais nous citerons en outre les comptoirs d'objets de première nécessité, établis aux chemins de fer de Saint-Germain, d'Orléans, etc., où les ouvriers trouvent, au prix de revient, des denrées d'épicerie, de grosse mercerie, etc. ; le réfectoire du chemin de fer d'Orléans où les ouvriers trouvent à bas prix une nourriture saine et abondante. Ce n'est pas seulement une véritable augmentation de salaire dont les ouvriers profitent, sans nouveaux sacrifices de la part de la Compagnie, mais encore ils reçoivent des objets de consommation plus sains que ceux qu'ils pourraient acheter chez de petits débitants ; ils consacrent plus volontiers des sommes qu'ils ne sont pas obligés de déboursier en écus aux besoins de leur ménage, et, en définitive, il en résulte un certain accroissement de bien-être qui tourne au profit de tout le monde. C'est là un des nombreux moyens que l'on peut employer pour fixer les ouvriers, en s'appliquant à développer leur bien-être moral et matériel.

§ 4. — Travail des roues.

Nous n'avons pas pu songer à décrire les procédés de travail employés dans chaque atelier spécial ; la plupart de ces travaux ne diffèrent pas de ceux qui s'exécutent dans tous les ateliers de mécanique, forge, fonderie, chaudronnerie, travail des tours et machines-outils de natures diverses, menuiserie, charronnage, peinture, sellerie, etc. ; il faudrait, en quelque sorte, entreprendre pour cela une nouvelle Encyclopédie des Arts et Métiers au dix-neuvième siècle. Nous nous attacherons seulement à donner quelques détails sur l'entretien et les réparations des roues, qui forment l'une des parties les plus importantes du service d'un atelier de chemin de fer.

Les bandages peuvent être livrés, par les forges, bruts et en barres droites aux ateliers de chemin de fer où ils sont cintrés, soudés et mandrinés au diamètre convenable. Plusieurs fabricants offrent maintenant des bandages soudés, ou même fabriqués sans soudure ; on peut adopter ce mode de fourniture pour simplifier le travail des ateliers, mais il reste toujours à chauffer les bandages pour les mettre sur la jante ; et il convient même de les mandriner à la demande de chacune des roues sur lesquelles on les applique ; il faut dans ce cas, vérifier avec soin l'état de la soudure.

Les barres droites, destinées à la confection des bandages, sont coupées de longueur à la cisaille ; on commence par refouler les extrémités, après les avoir chauffées au rouge, soit en suspendant la barre à la charpente de l'atelier et la lançant contre un tas en fonte, soit en maintenant la barre fixe et la frappant aux extrémités avec un marteau refouloir, du poids de 100 à 180 kilogrammes, fixé à un long manche en bois, suspendu à la charpente ; chaque extrémité reste plate ou est refoulée en biseau, suivant le mode de soudure qu'on adopte.

On place ensuite les barres ainsi préparées dans un four à réverbère, où on les chauffe au rouge ; on les amène successivement

sur la machine à cintrer ; la plus simple et la plus élémentaire se compose d'un grand plateau en fonte, percé de trous, et garni d'un mandrin qui représente en plein le vide intérieur du bandage une fois cintré ; on cale une des extrémités de la barre contre le mandrin, et, au moyen de pinces et de grand leviers armés de galets, qui prennent leur point d'appui dans les trous du plateau, on applique successivement la barre sur le mandrin, dont le diamètre est du reste tel que les deux extrémités soient amenées presque en contact à 0^m, 01 environ de distance.

Le bandage cintré est ensuite porté à la forge à souder, où les deux extrémités refoulées et rapprochées sont portées au blanc suant ; on chauffe à part des coins en fer préparés à l'avance, ils sont faits d'un métal aussi analogue que possible à celui du bandage par sa texture et ses propriétés et ils correspondent aux échancrures résultant du refoulage ; on les applique dans ces échancrures, on soude *vivement* avec le marteau à main, et ensuite on pare la soudure avec la tranchée et le marteau ; pour rendre à la partie soudée le profil normal du bandage.

Les bandages soudés sont portés dans un four circulaire à calotte mobile, ou dans un four à réverbère à sole carrée et à voûte surbaissée, où on les chauffe au rouge. Le bandage est alors posé sur la roue comme il va être dit, ou bien si l'on craint que sa circonférence soit irrégulière ou qu'il n'ait pas le diamètre voulu, on l'ouvre en le plaçant sur le plateau de la machine à cintrer, ou sur un plateau spécial, lorsque le travail est assez considérable pour qu'on puisse occuper deux appareils ; il enveloppe un cerclé en fonte, composé de quatre ou six segments, commandés au centre par un coin pyramidal mis en mouvement par une vis de rappel ; les segments ou mandrins s'écartent sous l'action de cette vis, sollicitée par de grands leviers manœuvrés à bras d'homme, ou par une série d'engrenages mus mécaniquement, et pressent à l'intérieur le bandage qui se met au rond et *s'écarte* ou *s'ouvre* au diamètre voulu.

On peut exécuter le cintrage et le mandrinage des bandages au moyen d'une machine qui se compose d'un petit laminoir qui en-

traîne la barre ou le bandage cintré, et de deux galets que l'on fixe sur le plateau de l'appareil, et qui forcent la barre à se courber; on arrive ainsi à mettre parfaitement au rond les bandages soudés. Cette machine a, sur les mandrins, l'avantage de donner du corps au bandage et de ne pas fatiguer la soudure.

Lorsque le bandage est cintré, soit au moyen d'une machine à mandriner très-énergique, soit au moyen de la machine dont nous venons d'indiquer le principe, on peut à la rigueur se dispenser de l'aleser intérieurement, pour l'appliquer sur la jante de la roue. L'alesage des bandages, lorsqu'on le juge nécessaire, soit d'une manière générale, soit exceptionnellement pour ceux dont le mandrinage peut laisser à désirer, s'effectue sur un tour simple ou sur un tour double, sur chacun des plateaux duquel on place un bandage cintré aussi exactement que possible.

L'embattage est l'opération dans laquelle on place les bandages, chauds et dilatés, sur les roues qu'ils étreignent fortement par le retrait. On chauffe le bandage au rouge-brun, on le place sur une table en fonte percée d'un trou central qui donne place au moyeu et à la manivelle, et, au moyen d'une grue, on fait descendre la roue sur le bandage qu'on laisse refroidir lentement ou qu'on étouffe, c'est-à-dire qu'on refroidit subitement en l'immergeant dans une cuve pleine d'eau; le bandage est alesé ou mandriné à un diamètre un peu plus petit que celui de la jante qui doit le recevoir; ce diamètre, par la dilatation, devient supérieur à celui de la jante, l'assemblage se fait facilement, et après le refroidissement il existe un serrage plus ou moins fort suivant les circonstances. Lorsqu'on n'alesé pas les bandages, on tâche de les embattre pendant qu'ils sont encore suffisamment chauds, on évite ainsi de nouveaux frais de chauffage et de main-d'œuvre.

Le désembattage est l'opération inverse de la précédente; elle consiste à enlever les bandages usés et qui doivent être remplacés. Il suffit pour cela, après avoir enlevé les rivets, de couper le bandage au burin ou sous la machine à mortaiser, ou de chauffer une partie de la circonférence de la roue sur un feu de forge, de manière à produire une dilatation suffisante pour qu'au moyen du

marteau on puisse faire tomber le bandage; on a toujours recours à ce dernier moyen lorsque le bandage est encore susceptible d'emploi. Après avoir décerclé une roue, avant de remettre un nouveau bandage, on doit s'assurer si la jante est restée cylindrique, et au besoin la rafraîchir sur le tour.

Le calage des roues sur l'essieu s'exécute au moyen d'une presse à vis ou d'une presse hydraulique. Le calage doit être à frottement dur, et les clavettes ne doivent être considérées que comme des clefs de retenue, destinées à empêcher la roue de tourner sur la portée, dans le cas où elle serait soumise à un effort très-considérable. On doit se servir de calibres établis avec soin, pour fixer la position de chaque roue, de telle sorte qu'il y ait entre les deux roues l'écartement voulu et que chaque roue soit bien placée par rapport à sa fusée. La pression sous laquelle il faut caler les roues est très-considérable; elle doit varier du reste avec le diamètre de la roue, avec celui de la portée, les dimensions du moyeu, etc. Le tableau suivant indique la règle adoptée pour quelques-unes des roues du chemin de fer du Nord, on admet seulement une tolérance de 5,000 kilog. au-dessus et au-dessous de ces pressions, et les dimensions de la portée de l'essieu et de celles du moyeu doivent être telles qu'à la limite inférieure la roue ne puisse pas être mise en place, et qu'il ne soit pas nécessaire d'atteindre la limite supérieure pour rendre le calage complet.

Désignation des machines.	Pression moyenne de calage.
Roues de locomotives.....	70,000 kg.
Roues de tender.....	40,000
Roues de wagons.....	25,000
Boutons de manivelle.....	15,000

Le décalage des roues s'effectue au moyen du même appareil. Les rivets ou les boulons qui fixent le bandage sur la roue, se posent habituellement lorsque la roue est complètement montée et que le bandage a reçu sa forme définitive sur le tour; on perce les trous des rivets au moyen d'une machine radiale à percer. Lorsqu'il s'agit d'un bandage neuf placé sur une roue qui a déjà

servi, on repère avec beaucoup de soin la position des trous percés dans la jante, pour les rapporter sur la face extérieure du bandage; on se sert pour cela d'un petit appareil en forme de sergent.

Lorsque les moyeux en fonte se fendent, soit en service, soit au travail du calage, ou même lorsqu'on a quelques doutes sur leur solidité, on les consolide au moyen de frettes en fer placées à chaud et fortement serrées. Lorsqu'il faut fretter une roue motrice armée d'une manivelle extérieure, il faut enlever, autour du moyeu proprement dit, une partie de l'épaisseur de la manivelle, pour faire la place du cercle appliqué sur une saillie extérieure, ou faire une frette placée sur la manivelle qui épouse exactement toutes ses formes.

Les bandages sont tournés et amenés au profil définitif sur des tours doubles, affectés spécialement à ce travail; nous ne décrivons pas ces machines-outils, nous renverrons pour cela, et pour de plus amples détails, sur les appareils employés au travail des roues, au Mémoire de M. Nozo inséré dans le compte rendu de la Société des Ingénieurs civils, 2^e trimestre 1849. Les bandages sont rafraîchis sur le tour et ramenés au profil normal au fur et à mesure qu'ils se creusent en forme de gorge, et leur épaisseur va sans cesse en diminuant. Il convient après chaque tournage de sonder les rivets avec un marteau et de remplacer ceux qui sont lâchés; cette réparation devient ordinairement nécessaire après deux tournages, parce que les rivets ne sont bien refoulés que près de la tête. Ils sont maintenus en service tant que les rivets conservent une tête assez longue et que le bandage lui-même conserve assez d'épaisseur pour qu'il n'y ait pas à craindre de voir les roues se décrocher en service. La limite d'épaisseur au delà de laquelle on met les bandages hors de service, peut varier suivant leur qualité et la nature du travail auquel les véhicules sont appliqués, et suivant le mode de construction des roues elles-mêmes; cette limite est pour les machines locomotives de 0^m, 089 à 0^m, 025, pour les tenders de 0^m, 025 à 0^m, 020, pour les voitures et wagons de 0^m, 020 à 0^m, 015. On peut éva-

luer comme suit le parcours moyen du bandage depuis la mise en service jusqu'à la mise au rebut :

Bandages	{ sous les machines à roues couplées..	50,000 km.
en acier fondu	{ sous les mach. à roues indépendantes.	80,000
Bandages	{ sous les machines à roues couplées..	30,000
en fer à grains	{ sous les mach. à roues indépendantes.	60,000
Bandages en acier fondu,	roues de wagons.....	150,000
Bandages en fer à grains,	d ^e	80,000

Il y a tout avantage à rafraîchir fréquemment les bandages, car l'usure croît *progressivement* avec le service; on arrive maintenant à retourner les bandages lorsqu'ils ont 0^m, 002 à 0^m, 003 de creux; il faut alors s'appliquer d'une manière toute spéciale à simplifier les manœuvres accessoires pour enlever les roues sous les wagons et les machines, les approcher du tour et les mettre sur pointes.

Les essieux exigent peu d'entretien; quelquefois, il faut les redresser lorsqu'ils ont été faussés par suite d'un accident. Les fusées, lorsqu'elles ont grippé et qu'elles sont profondément rayées, peuvent être tournées au crochet, l'essieu monté étant simplement placé sur un châssis en bois. Les deux fusées servent alors de tourillons, et, dans ce cas, le mouvement peut être donné à la main, soit directement quand il y a peu à faire, soit au moyen d'une *roue de volée* et d'une courroie passée sur l'une des roues, quand l'opération a quelque importance. Dans les ateliers complets il y a des outils spéciaux pour faire cette réparation d'une manière courante.

On obtient de bons résultats pour la conservation des fusées, par la trempe et par un martelage à petits coups qui écrouit le métal à la surface et le rend moins facile à entamer lorsque la boîte à graisse chauffe.

§ 5. — Prix de revient.

On s'applique, dans la comptabilité des ateliers de chemins de fer, à décomposer toutes les dépenses par objets fabriqués ou ré-

parés, et pour chaque objet par éléments: matières, main-d'œuvre, frais généraux, etc. Il est à regretter seulement qu'il y ait entre les divers chemins de fer une divergence entre les procédés de comptabilité, qui ne permet pas toujours de comparer les résultats. Il y a lieu d'espérer cependant que les diverses administrations comprendront l'intérêt de l'uniformité dans la distribution du travail et dans le mode d'établissement des prix de revient; on arrivera ainsi à établir une sorte de tarif des travaux de construction et de réparation, analogue à celui que l'on a établi pour les travaux d'architecture, et qui rendra les plus grands services pour la direction économique des ateliers. Nous appelons sur ce point l'attention des administrateurs et des ingénieurs chargés de la direction de nos chemins de fer.

Nous donnerons quelques résultats qui, bien qu'isolés, ne manqueront pas de présenter un certain intérêt. Le travail de M. Nozo sur les roues, que nous avons déjà cité, renferme des renseignements intéressants sur le prix de revient de ce travail spécial; sans entrer dans la composition de ce prix de revient, comme l'a fait M. Nozo, nous nous contenterons d'en donner le résumé :

	Prix de revient de la matière travaillée par kilogramme.
1 ^o Bandages de roues motrices de machines à voyageurs de 1 ^m 68 de diam. achetés en barres (à 0 ^f ,75 le kil.), refoulés, cintrés, soudés et arrondis, prêts à aleser.....	0 ^f ,847
2 ^o Bandages de roues de support de machines de 1 ^m 06 de diamètre, même travail.....	0 ^f ,885
3 ^o Bandages de roues de voitures et wagons de 0 ^m , 91 (à 0 ^f ,60 le kil. en barres) même travail.....	0 ^f ,7636
4 ^o Bandages de roues motrices (1 ^o), alésés, embattus et tournés.....	0 ^f ,937
5 ^o Bandages de roues de support de machines (2 ^o) même travail.....	1 ^f ,002
6 ^o Bandages de roues de voitures et de wagons, même travail.....	0 ^f ,904

M. Nozo a cherché également à établir le prix de revient par kilomètre parcouru et par paire de roues, de l'entretien et du

renouvellement des bandages; il est arrivé aux résultats suivants :

	Epaisseur des bandages.	Parcours total.	Prix de revient du kilomètre parcouru.
Roues motrices.....	de 1 ^m ,68 — 0 ^m ,035	— 45,000k ^m	— 0 ^f ,0139
Roues de support.....	de 1 ^m ,06 — 0 ^m ,035	— 50,000k ^m	— 0 ^f ,0079
Roues de voitures et wagons	de 0 ^m ,91 — 0 ^m ,040	— 50,000k ^m	— 0 ^f ,0045
<i>Id.</i>	— 0 ^m ,035	— 37,000k ^m	— 0 ^f ,0030
Ensemble des roues d'une machine à voyageurs et de son tender			— 0 ^f ,0495
<i>Id.</i>	<i>id.</i>	à marchandises	<i>id.</i> — 0 ^f ,0613

Les chiffres qui précèdent comprennent le prix d'achat des bandages bruts, et, comme déduction, le prix des vieux bandages; les frais généraux sont comptés à 50 p. 0/0 de la main-d'œuvre de l'atelier.

Le chemin de fer du Nord nous a fourni en outre quelques exemples de prix de revient isolés que nous citerons encore ici : ce sont des prix de marchandage alloués à des entreprises d'ouvriers qui, sous la direction de l'ingénieur des ateliers, sont groupés pour l'exécution de certains travaux d'ensemble; ils ne comprennent que le salaire des ouvriers spéciaux : les matières, le combustible, la force mécanique, les outils et ustensiles, etc., étant fournis par la Compagnie.

1^o ENTREPRISE D'ENTRETIEN DE LA PARTIE TUBULAIRE DES LOCOMOTIVES.

Démontage. — Enlèvement des tubes et viroles; transport au magasin de l'atelier et classement des tubes à réparer. Par tube..... 0^f 30^c

Décapage. — Décapage au cylindre à décaper; lavage après décapage, toutes manœuvres de transport et rangement. Par tube..... 0 04

Réparation. — Reçepage des bouts; fraisage de l'extrémité à rabotir; préparation des bouts de rabotissage; soudage, redressage et ébarbage; calibrage et recuisage des extrémités de tubes réparés; essai à la presse et points de soudure s'il y a lieu; pesage et toutes manœuvres de transport dans les magasins. Par tube réparé, essayé et rangé, quelle que soit la longueur du rabotissage et le nombre des points de soudure..... 0 26

Montage. — Mandrinage des trous, des plaques tubulaires; présentation en place des tubes; affleurage, mandrinage et rivage des tubes sur les plaques; pose d'une ou deux viroles s'il y a lieu. Par tube..... 0 35

2^o ENTREPRISE DE FABRICATION DES TUYAUX.

La main-d'œuvre de construction des tuyaux de prise, d'admission et d'échappement de vapeur; des tuyaux d'alimentation, de réchauffage et de vérification des

pompes, etc., est payé au kilogramme de tuyau construit, conformément au tarif ci-dessous

Tuyaux de 0m 40 à 0m 14 de diamètre.....	0 ^e 40c
0 10 à 0 12.....	0 35
0 08 à 0 10.....	0 30
0 06 à 0 08.....	0 18
0 04 à 0 05.....	0 20
0 025 à 0 04.....	0 25
0 01 à 0 025.....	0 35

3^e ENTREPRISE DES REPARATIONS DE GROSSE CHAUDRONNERIE

(Extrait des Tarifs.)

Descente de la boîte à feu intérieure.....	Enlèvement des entretroises et débouchage des trous, par entretroise.....	0 ^e 30c
Derivage et démontage d'un cadre de porte.....	Derivage et démontage d'un cadre de porte.....	7 00
Derivage et démontage d'un cadre du bas.....	Derivage et démontage d'un cadre du bas.....	5 00
Descente de la boîte sur le sol de l'atelier.....	Descente de la boîte sur le sol de l'atelier.....	5 00
Démontage des armatures du ciel du foyer.....	Démontage des armatures du ciel du foyer.....	10 00
Derivage et désassemblage de la vieille plaque.....	Derivage et désassemblage de la vieille plaque.....	8 00
Dérachage, planage.....	Dérachage, planage.....	10 00
Perçage des trous jusqu'à 200 tubes.....	Perçage des trous jusqu'à 200 tubes.....	10 00
Remplacement d'une plaque tubulaire.....	Remplacement d'une plaque tubulaire.....	14 00
Ajustage de la plaque neuve livrée avec bords relevés.....	Ajustage de la plaque neuve livrée avec bords relevés.....	10 00
Perçage et alésage des trous de rivets, pose des boulons provisoires.....	Perçage et alésage des trous de rivets, pose des boulons provisoires.....	10 00
Derivage et désassemblage de la vieille plaque.....	Derivage et désassemblage de la vieille plaque.....	8 00
Dérachage, planage de la plaque neuve.....	Dérachage, planage de la plaque neuve.....	10 00
Ajustage, traçage et perçage des trous de rivets, pose avec boulons provisoires.....	Ajustage, traçage et perçage des trous de rivets, pose avec boulons provisoires.....	10 00
Dérachage, planage de la plaque livrée développée.....	Dérachage, planage de la plaque livrée développée.....	12 00
Ajustage, traçage et perçage des trous de rivets, pose avec boulons provisoires.....	Ajustage, traçage et perçage des trous de rivets, pose avec boulons provisoires.....	12 00
Double présentation, traçage et pointage des trous d'entretroise, mise en place avec boulons d'une boîte neuve ou réparée (toutes dimensions).....	Double présentation, traçage et pointage des trous d'entretroise, mise en place avec boulons d'une boîte neuve ou réparée (toutes dimensions).....	13 00
Sur place, au cliquet.....	Sur place, au cliquet.....	0 20
A la machine.....	A la machine.....	0 10
Petite dimension.....	Petite dimension.....	10 00
Grande dimension.....	Grande dimension.....	12 00
Taraudage des deux trous d'une entretroise et pose de l'entretroise livrée filetée.....	Taraudage des deux trous d'une entretroise et pose de l'entretroise livrée filetée.....	0 20
Pose d'un écrou d'entretroise et sa rondelle, s'il y a lieu.....	Pose d'un écrou d'entretroise et sa rondelle, s'il y a lieu.....	0 10
Rivage d'une tête d'entretroise.....	Rivage d'une tête d'entretroise.....	0 07
Remontage avec boulons provisoires du cadre de la porte avec les trous supposés percés.....	Remontage avec boulons provisoires du cadre de la porte avec les trous supposés percés.....	4 00
Double présentation du cadre du bas, pointage des trous de rivets du pourtour du foyer en correspondance avec ceux du cadre; remontage du cadre après perçage.....	Double présentation du cadre du bas, pointage des trous de rivets du pourtour du foyer en correspondance avec ceux du cadre; remontage du cadre après perçage.....	18 00

Forer intérieur (descente, réparation et remontage)

pose et rivage de rivets.

Rivet en fer ou cuivre de 0m 015 à 0m 020 de diamètre, soit pour la chaudière, soit pour les longerons, plaques de garde, agrafe ou attelage, soit pour les cadres de porte ou du bas, soit pour boucher les anciens trous, par rivet.....	0 ^e 20c
Rivet de 0m 008 à 0m 014 de diamètre pour punneaux de tenders et autres.....	0 06
Toutes clouures ordinaires de chaudières, quelle que soit l'épaisseur des tôles.....	0 75
Sur les cadres du bas.....	1 50
Panneaux de tenders.....	0 60

Toutes les manœuvres, soit pour la présentation des pièces, soit pour placer ces pièces sous les machines à percer, ainsi que pour les transports dans l'intérieur des ateliers, pour aller chercher les pièces, les porter aux outils-machines ou pour les entrer au magasin, sont à la charge des entrepreneurs, auxquels on adjoint un certain nombre de manœuvres d'après les difficultés des transports.

Enlèvement de 296 entretroises à 0 ^e 20c l'une.....	592 00c
Descente de la boîte à feu intérieure.....	7 00
Derivage et démontage du cadre du bas.....	20 00
Descente de la boîte à feu intérieure.....	5 00
Démontage des armatures du ciel du foyer.....	10 00
Dérachage et planage de la plaque neuve.....	10 00
Remplacement de la plaque tubulaire.....	10 00
Perçage et alésage des trous de rivets.....	10 00
Ajustage, perçage et pose de la plaque neuve.....	10 00
Pose de 74 rivets en cuivre à 0 ^e 20c.....	14 80
14 40 de chanfreinages et mâtages (en dedans et en dehors).....	5 35

Exemple d'application :

Descendre une boîte à feu intérieure réparée pour remplacer la plaque tubulaire, dans le cas d'un foyer ayant jusqu'à 1m 10 de longueur intérieure, tel que celui de la locomotive, planche 6.....	Double présentation et remontage de la boîte intérieure réparée.....	13 00
	Perçage à la machine de 46 trous d'entretroises à 0 ^e 10c.....	4 60
	Taraudage des trous et pose de 296 entretroises à 0 ^e 20c.....	59 20
	Pose de 296 écrous d'entretroises à 0 ^e 08c.....	23 68
	Rivage de 296 tôles d'entretroises à 0 ^e 07c.....	20 74
	Pose du cadre de la porte.....	4 00
	Remontage du cadre de la porte.....	6 40
	Rivage de 52 rivets à 0 ^e 20c.....	6 40
	Double présentation et remontage.....	18 00
	Perçage au cliquet des trous dans le bas de la nouvelle plaque tubulaire.....	7 80
	Pose de 134 rivets à 0 ^e 20c.....	30 80
	40 mètre de chanfreinages et mâtages à 1 ^e 50c le mètre.....	15 00

TOTAL..... 334^e 65^e

semblage; repoussage des étiquaux et perçage des fentes; cintrage, trempé, émou-lage, montage, pose des brides et essai à la machine;

Est payée: Pour ressorts à feuilles ajustées de 75/10 et 73/8, le kilogramme..... 0 18
de 75/12, 90/10 et 90/12, de..... 0 16

Les manœuvres de transport à l'intérieur et l'entretien des outils sont à la charge des entrepreneurs, qui sont responsables de leurs travaux jusqu'après réception.

10^e ENTREPRISE DE PEINTURE DES LOCOMOTIVES, TENDERS ET ROUES.

La peinture entière, en vert, d'une locomotive ou d'un tender, comprenant un lessivage, deux couches en gris, un masquage, un ponçage de toutes les parties à peindre; deux couches de fond, une couche de vernis, repolissage, rechampissage, filets et lettres, deux couches au vernis, tous les noirs;

Est payée:

Pour toutes locomotives, excepté les Enveloppe en bois ou tôle..... 35⁰⁰ 00
Egerth, non compris les roues..... Lorsque le corps cylindrique est couvert en laiton..... 20 00
Pour locomotives système Egerth, corps cylindrique couvert en laiton..... 10 00
Pour tous tenders, excepté ceux des machines Egerth..... 31 00
Pour tenders de locomotives Egerth, à marchandises..... 39 00
de mixtes..... 16 00

La peinture des roues, faite séparément et comprenant: Nettoyage et lessivage, une couche de fond, deux couches au vernis;

Est payée:

motrices ou couplées, Pour toutes locomotives, excepté les Crampton..... 2⁰⁰ 75
à voyageurs..... 3 25
Par paire de roues de support, à voya- Pour toutes locomotives, excepté les Crampton..... 1 75
geurs..... 2 25
à marchandises, quelles qu'elles soient..... 2 00

L'application d'une couche de minium, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur d'une chaudière de locomotive quelconque (corps cylindrique et boîte à feu), y compris nettoyage et grattage des parties à enduire,

Est payée:

Pour toutes locomotives, excepté les Egerth..... 7⁰⁰ 00
Pour locomotives Egerth..... 40 00

L'application d'une couche de minium dans l'intérieur des caisses de tenders, y compris nettoyage et grattage des parties à enduire,

Est payée:

Pour tous tenders, excepté ceux des locomotives Egerth, à marchandises..... 8⁰⁰ 00
Pour tenders des locomotives Egerth, à marchandises..... 7 00

L'application d'une couche de kolar sur le train des tenders, compris nettoyage et grattage des parties à enduire, est payée par tender, quel qu'il soit..... 7⁰⁰ 00
Ces prix comprennent la fourniture des matières premières qui sont livrées en compte aux entrepreneurs, par le magasin, à des prix qui doivent toujours être conformes à ceux d'un tarif accepté par eux.

Le chemin de fer d'Orléans nous a fourni un exemple très-complet de prix de revient, pour l'ensemble des frais de construction.

Le tableau suivant a été dressé par M. C. Polonceau, pour les quarante machines à marchandises qu'il a fait construire dans les ateliers d'Ivry et qui figurent sous le n° 14 du tableau général de la page 396.

Les frais généraux sont calculés à raison de 50 p. 0/0 de la main-d'œuvre spéciale dont il a pu être tenu attachement; ils sont destinés à couvrir les frais de direction, de surveillance et de bureau des ateliers, l'éclairage, le nettoyage, la main-d'œuvre des manœuvres, l'entretien de l'outillage, le loyer et l'entretien des bâtiments.

M.	DÉCHETS.	PAR ATELIER				RÉSUMÉ				TOTAL GÉNÉRAL.	PRIX DE KILO OUVRÉ.
		PER- FOR- MATION CONTRÔLE.	ACIER MACHIN- NERIE.	BOIS MACHIN- NERIE.	MATÉRIAS DIVERS.	MATÉRIAS DIVERSES.	MATÉRIAS DIVERSES.	TOTAL.	Frais d'atelier 50 p. 0/0 de la main-d'œuvre.		
k.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	
70	150 80	15 92	31 26	20 50	4 000 04	136 50	4 326 54	68 23	4 294 70	5 98	
45	175 12	14	129 04	10 00	175 12	132	2 896 12	61 50	337 62	0 95	
37	38	136 48	140 80	903 80	178	1 081 50	89	1 170 30	4 91		
65	71	158 70	74 60	176 22	196 20	552 43	78 10	410 33	1 38		
19	46 90	106 42	158 70	158 70	19 60	151 30	2 460 80	147 60	4 48		
30	6 30	8 22	146 67	10 14	6 50	16 61	3 25	370 88	7 15		
130	567 20	595 80	377 40	15 038 32	688 54	6 516 06	344 47	6 090 83			
35			61 20	8 535 16	61 20	8 591 36	30 60	8 424 96	3 50		
				95 84		95 84		33 84	5 00		
35			61 20	8 427	61 20	8 488 20	50 60	8 318 80			
11 13	8 72	2 50	19 40	29 50	45 90	14 75	60 65	2 1			
4 90	27	12	9 97	21 27	6	27 27	3 6	1			
7 90	12 17	12 50	12 17	12 50	94 07	6 25	30 93	1 1			
33 40	20 04	10 15	61 81	99 05	160 81	49 50	210 31	2 1			
70	52	43 07	88 65	74 80	173 45	37 40	210 85	1 1			
225 88	105 14	87 14	361 06	105 14	654 160	101 80	506 06	1 1			
374	169 70	101 04	2 844 19	176	530 12	27 88	608 12	1 1			
35 50	67 92	25	67 92	104 10	172 02	82 05	224 07	1 1			
49 33	26 36	50 15	163 68	58	221 58	60	290 66	1 1			
6 48	80	80	130 31	67	225 08	32 78	30 88	1 1			
17 80		60	27 60	60	87 60	30	117 60	3 1			
153	7 20	123	5 508 80	131 36	5 457 45	85 68	5 502 83	1 1			
874	465 09	506 63	6 472 45	871 88	7 544 27	425 91	7 780 48				

PRIX DE REVIENT DES QUARANTE MACHINES A MARCHANDISES CONSTRUITES PAR M. C. POLONCEAU.

stequiaux et perçage des fentes; cintrage, trempé, essai et essai à la machine; ajustées de 75/10 et 75/8, le kilogramme; port à l'intérieur et l'entretien des outils sont à la charge des responsables de leurs travaux jusqu'après réception de l'ouvrage.

ENTRETIEN DES LOCOMOTIVES, TENDERS ET BOULONS.
 d'une locomotive ou d'un tender, comprenant un nettoyage, un mastiquage, un ponçage de toutes les parties, une couche de vernis, repolissage, rechapage, et au vernis, tous les noirs;

excepté les (Enveloppe en bois ou tôle...
 L'Orléans nous a fourni un exemple très-complet, pour l'ensemble des frais de construction, qui a été dressé par M. C. Polonceau, pour les marchandises qu'il a fait construire dans les usines de la Compagnie; ce tableau figure sous le n° 14 du tableau général de la page 518.

Les frais sont calculés à raison de 50 p. 0/0 de la main-d'œuvre; ils sont en plus les frais de direction, de surveillance et de bureau, le nettoyage, la main-d'œuvre des manœuvres, l'outillage, le loyer et l'entretien des bâtiments.

DESCRIPTION	POIDS BRUT DES MATIÈRES.										POIDS DES MATIÈRES DES PIÈCES AJUSTÉES.										DÉCHETS.	PRIX DES MATIÈRES EMPLOYÉES.											
	CORNIÈRES.	FER.	ACIER.	BRONZE.	CUIVRE ROUGE.	CUIVRE JAUNE.	FONTES.	TOILES.	BOIS.	TOTAL.	CORNIÈRES.	FER.	ACIER.	BRONZE.	CUIVRE ROUGE.	CUIVRE JAUNE.	FONTES.	TOILES.	BOIS.	TOTAL.		fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	
Foyer:																																	
de 3 pièces et leurs		29.1			1,168.50				1,198.50			28.1			70.00	1,052.00					1,077.70	120.80	15.02		3.35	4,072.77							
monté en place et leurs		419			778				419			374									374	45	175.12										
et leurs rivures.		27			896.27				296.27						258.27						258.27	58				905.50							
de la porte du foyer.		310					59.03		569.03			258						40.05			298.05	71	156.48					19.77					
de foyer.		365							365			316									316	19	158.70										
boulons et goujons.		252.50					174.70		407.20			192.30						168			360.50	46.90	105.42					61.15					
de porte et garde-flamme.	15	1.50							90.50		10	4								3	14	6.50	8.23										
	45	1,327.1			1,461.77				3,078.50		10	1,106.30			70.00	1,290.27				5	2,708.70	567.20	595.86		113.35	4,976.27		80.02	1.08			3,629.28	108.44
et la pose.		31				2,534			2,534			51				2,490					2,490	35									4,333.16	4,333.16	
de fer.		31				2,534			2,534			51				2,490					2,490	35									4,427	4,427	
Andronnerie.																																	
de la cheminée, paravent, boulons		18.95						16	31.95			13.50							10.30		23.80	11.45	8.72						7.68		16.40	7.68	
de la fumée.		60						12	12.60			60							7.10		7.70	4.90	27					9		11.51	9.21		
rapports et goujons.	48	29.40						91	138.40		14	23						68		105	33.40	20.04					41.77		161.81	5			
rapports, boulons et goujons.	56.50	55.90						119.30	211.70		51.50	43.90						84.30		159.70	52	43.07					56.58		198.63	14.20			
de la cheminée, boulons et rivets.	160	27.25						438.20	645.45		110	25						284.60		440.60	225.83	105.14					216.51		331.56	10.50			
de la cheminée et cornière avec rivets.	255	76						406	737		205	56						202		465	274	169.70					174.43		344.19	75			
de la cheminée et rivets.		146							146			112.50								112.50	33.50	67.92							67.92	73			
de la cheminée avec cornières, 8 équerres		25.75						115.50	185.35		120	14						77		156	49.35	26.36					83.53		165.66	0.25			
de la cheminée, 1 bouchon pour									33.90			8.05						19.40		27.45	6.45	10.02					8.01		43.51	4.00			
de la cheminée et goujons pour								47.70	47.70									50.20		50.20	17.50						27.00		27.00				
de la cheminée, portes de foyer et		15						4,122.50	4,457.50			12						4,270.50		4,382.50	185	7.20							5,298.60	5,298.60			
de la cheminée, boulons	405.25	428.50					26.60	22.00	5,686.20							25	19.40	5,054		5,788.45	871	465.09					83.53	8.01	617.50		5,298.60	6,172.45	300

PRIX DE REVIENT DES QUARANTE MACHINES A MARCHANDISES CONSTRUITES PAR M. C. POLONCEAU.

POIDS BRUT DES MATIERES.								POIDS DES MATIERES DES PIÈCES AJUSTÉES.								PRIX DES MATIERES EMPLOYÉES.										MAIN-D'ŒUVRE PAR ATELIER.				RÉSUMÉ.								
BRONZE.	CUivre ROUGE.	CUivre JAUNE.	FONT.	TOLE.	BOIS.	TOTAL.		CORNIÈRES.	FER.	ACIER.	BRONZE.	CUivre ROUGE.	CUivre JAUNE.	FONT.	TOLE.	BOIS.	TOTAL.	DÉCHETS.	PER et CORNIÈRES.	ACIER.	BRONZE.	CUivre ROUGE.	CUivre JAUNE.	FONT.	TOLE.	BOIS.	OBJETS provenant de fabrication.	TOTAL D'ARGENT.	FORGES.	AJUSTAGE.	CHAUDRONNERIE.	MENUISERIE.	MATIERES.	MAIN-D'ŒUVRE.	TOTAL.	Frais généraux 50 p. 100 de la main-d'œuvre.	TOTAL GÉNÉRAL.	PRIX DE MISE EN ŒUVRE.
k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.		k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
						2,302			2,076 90								2,076 90	225 80									4,189 64	4,189 64		141 60			4,189 64	141 60	4,331 24	70 80	4,402 04	2 120
						2,028			1,804								1,804	224	30 24								1,700 55	1,700 55	32 84	80 10			1,739 70	82 94	1,822 75	41 47	1,864 20	1 032
			65 80			385 50		Plomb. 262 50	80					49			331 50	54	12 58						32 90	104 30	239 78	4 48	47 88	20		239 78	61 56	301 34	50 78	352 12	1 001	
						796 80			714	4							718	78 50	5 40							610 44	651 84	2	44			654 84	46	700 84	25	725 84	1 008	
						1,104 25			705	2							707	397 25	2 70							1,782 81	1,785 51	1	192			1,785 51	195	1,978 51	96 50	2,075 01	2 954	
6 75			65 80			6,616 25		202 50	5,219 20	6				40			5,536 70	979 53	42 82	8 10					32 90	8,223 74	8,609 56	40 32	475 58	20		8,609 56	525 10	9,134 66	262 55	9,397 21		
			65 80	92 50		253 70			71 20						58 80	92 50	222 20	31 50	44 28						30 14	18 16		92 58	41	26 60		6	92 58	78 60	171 18	59 30	210 48	945
			111	Bois. 10 80 Caoutchouc 5		146 80			45 60					94 80	2	Bois. 40 80 Caoutchouc 5	124 20	22 60	8 10					38 85	2	Bois. 1 80 Caoutchouc 24 90		75 63	4 41	27 62		3	75 63	37 06	112 71	18 53	151 24	1 056
			210			5,275 80			1,449					168			1,617	1,738 80	1,669 53					73 50			1,743 03	308 42	513 43			1,743 03	879 87	2,622 90	439 33	3,062 23	1 894	
	44 30		51 90	192		512 15		20	33		34			22	132		241	101 15	34 07	5	26 40 40			11 10	100 76		286 39	80 40	80 70	15		286 39	126 10	412 49	63 05	475 54	1 973	
			57 32	222		540 22		80	71 80					40 20	202		394	140 22	97 99	25	22 02			30 06	151 32		269 37	22 04	48 80			269 37	126 84	396 21	65 42	461 63	1 166	
				224 80		367 80		65	80						165		278	80 80	71 50	65	2 54					102 02		175 52	26 20	164 42	15		175 52	233 02	407 14	116 81	523 95	1 878
				41 90		57 50			20 50						9		29 50	8	41 70							5 29		46 99	12 22	12			46 99	26 28	45 27	15 14	66 41	1 912
						222 50			167								167	25 50	101 42		1 04						101 42	65 90	170 20			101 42	136 10	237 52	68 05	305 57	1 837	
101						478			56	401							457	21	24 65							236	590 65	42	25			590 65	67	657 65	33 50	691 15	1 525	
40 1	44 30		440 22	777 10	106 30	5,764 47		165	1,952 10	401	54			325	566 30	106 50	5,529 90	2,234 57	2,073 24					143 57	291 53	44 89	586	5,549 60	532 68	965 70	184	9	5,549 60	1,711 47	5,061 07	835 73	5,916 80	
	5 80					9 30			2 50		8 80						8 50	1	1 75								54 50	36 25	1 70	1 2 95			36 25	4 63	40 88	2 315	43 125	5 204
	20 80					153 80			51		99 80						130 80	23	22 22	25							548 90	571 12	18	16 74			571 12	34 74	605 86	17 037	623 25	4 764
	225 69					165 10			33 50		105 60						139 10	24	25 97								585 40	607 37	19 70	19 07			607 37	39 37	646 74	19 333	666 218	

§ 6. — Comptabilité.

L'organisation d'une bonne comptabilité est de la plus grande importance pour un atelier de chemin de fer; elle n'est pas seulement rendue nécessaire par la nature même des sociétés industrielles qui exploitent les chemins de fer, elle est indispensable pour arriver à la plus grande économie possible dans l'exécution des travaux et pour guider les ingénieurs préposés à la direction du service, dans la recherche des dispositions mécaniques qui donnent lieu à la moindre somme des frais d'exploitation. On doit surtout apporter un soin particulier à contrôler l'emploi des matières qui, appliquées à des travaux de réparations, peuvent donner lieu à un gaspillage considérable. La direction du service de la comptabilité et du magasin doit être l'objet des préoccupations constantes de l'ingénieur du matériel.

La comptabilité des ateliers a un double objet : le compte rendu des dépenses et l'établissement des prix de revient; cette dernière partie est un intermédiaire indispensable pour l'affectation des dépenses aux divers services qui empruntent le concours des ateliers, et pour la répartition des sommes dépensées entre le capital de premier établissement et les frais d'exploitation. Les prix de revient sont indispensables pour l'appréciation de toutes les questions d'art; l'exemple que nous avons cité pour le travail des roues en est la meilleure preuve; c'est ainsi qu'on a pu se rendre un compte exact de l'avantage qu'il y avait à augmenter l'épaisseur des bandages pour arriver à l'économie des frais d'entretien rapportés au kilomètre parcouru. La détermination des prix de revient est encore utile pour la préparation des devis de constructions neuves ou de modifications, pour la commande des pièces à l'extérieur; elle permet surtout de suivre l'effet des différentes méthodes essayées pour l'organisation du travail intérieur des ateliers, ainsi que les progrès de chaque division de l'atelier, et en quelque sorte de chaque ouvrier.

La comptabilité du service de la traction est plus simple; elle

exige néanmoins assez de détails. Il faut en effet que la répartition des matières consommées soit faite, jour par jour, par machine, par machine, mécanicien par mécanicien, pour que l'on puisse apprécier, au point de vue de l'économie du service, l'efficacité et le mérite comparatif des différents types de machines, des diverses sortes de matières consommées et, des différents chefs de dépôt et mécaniciens. On établit, en quelque sorte, le prix de revient du kilomètre parcouru par jour et par machine; cette répartition de la dépense, constatée chaque jour, est du reste nécessaire pour la fixation des primes de coke, d'huile, d'entretien, d'exactitude, etc., qu'on alloue aux mécaniciens.

La justification des dépenses de toute nature se fait par les factures acquittées des fournisseurs qui ont livré des matières au magasin, par les mémoires acquittés des constructeurs qui ont fourni des pièces fabriquées, des entrepreneurs de toute nature qui ont travaillé pour l'atelier, en par leur rôle d'appointements et de salaires énumérés par les parties prenantes, par des inventaires semestriels ou annuels qui contrôlent les sorties du magasin. La justification des sorties du magasin doit être complétée par les bons de commande, signés par les chefs des services qui viennent y puiser leurs matières de consommation et par les reçus des objets livrés.

La liquidité des dépenses effectuées dans les ateliers se justifie par les bons de commande de l'ingénieur du matériel ou des chefs des divers services et par les reçus qui constatent, les uns et les autres, la nature et la quantité des travaux effectués. Les chefs d'ateliers ne peuvent pas disposer arbitrairement des matières mises à leur disposition et de la main-d'œuvre de leurs ouvriers, pour exécuter des travaux de fantaisie; l'examen des prix de revient permet d'apprécier si chacun des travaux qui leur ont été confiés a été exécuté avec une économie satisfaisante.

L'établissement des prix de revient fournit un moyen de contrôle qui, quoique à la comptabilité administrative, celle des ateliers de chemin de fer présente les mêmes garanties que celle de

l'Etat pour la sincérité des paiements effectués; le poids des matières fournies aux magasins et leur qualité sont contrôlés par les agents des services qui ont le emploi; le prix de ces matières, si lors qu'ils agit de fournitures importantes, est établi par l'ingénieur du matériel qui met en concurrence les fournisseurs ou les entrepreneurs; il est ensuite arrêté par le conseil d'administration de la compagnie et l'approbation est donnée par les commissions de comptabilité nommées par les assemblées générales, qui ne s'attachent pas seulement à la régularité de la forme des écritures, mais qui étendent leurs investigations sur le contrôle de la quantité et de la nature des fournitures et sur l'importance des travaux exécutés. Il en résulte déjà des garanties au moins égales à celles que donne le système des adjudications, sans les inconvénients de toute nature que celui-ci entraîne. Dans l'exécution des travaux par l'Etat, le contrôle spontané qui résulte de la multiplicité des signatures qui sont intervenues dans la justification des dépenses, donne uniquement des garanties pour leur réalité et leur régularité, mais la question du prix de revient ou de la comparaison des dépenses réalisées avec l'utilité intrinsèque des travaux exécutés, sont laissées complètement de côté. Dans un atelier de chemin de fer, on se rend quitte compte exact de ce que coûte la construction d'une machine locomotive d'un système donné, de ce que coûte la consommation de matières de toute nature et de personnel qui s'en fait le service; on compare les prix de construction avec ceux de l'industrie privée, les dépenses de service avec celles des autres chemins, et sous peine de mauvais gestion on est obligé de marcher de progrès en progrès pour alléger les dépenses et améliorer l'efficacité du service. La même chose ne se fait dans les ateliers de l'Etat, où la forme de la comptabilité n'empêche toujours sur le fond; on ne sait pas exactement, par exemple, ce que coûte la construction d'un bateau à vapeur construit à Indret ou à Rochefort, et encore moins la dépense qu'il occasionne son service pour chaque unité de parcours effectuée. On ne peut pas retrouver dans ces éléments d'émulation qui, depuis vingt années, ont réduit de plus

de 50 p. 0/0 la dépense de locomotion dans l'industrie des chemins de fer.

La digression qui précède a pour objet de démontrer la nécessité de l'établissement des prix de revient, que quelques personnes pourraient considérer comme une superfétation; elle démontrera une fois de plus combien il serait nécessaire qu'un mode uniforme dans la comptabilité des dépenses fût adopté par toutes les Compagnies.

Nous avons déjà indiqué la nécessité d'établir un système, de bons de commande, de factures et de reçus de livraison, comme moyen de contrôle de la réalité des fournitures faites par les magasins ou par les fournisseurs aux ateliers, et de l'utilité des travaux qu'ils exécutent : ces pièces sont toutes extraites de registres à souche qui permettent aux différents agents comptables qui les échangent, de se mettre d'accord à la fin de la journée, de la quinzaine ou du mois; en y inscrivant, en regard de la quantité, le prix des objets livrés, on en fait l'un des éléments principaux du calcul des prix de revient. En même temps, on tient avec soin des attachements de l'emploi du temps des ouvriers, sur des rôles qui, en regard du nom de chaque ouvrier, indiquent le montant de son salaire, et la répartition des *jours* ou des *heures*, dont se compose sa journée, entre les divers travaux auxquels il a pu participer.

S'il s'agit, par exemple, de réparer un tender brisé dans un accident, et d'ailleurs arrivé à l'état de grande réparation, l'ingénieur du matériel donne l'ordre d'exécuter la réparation, qui prend la forme d'un bon de commande adressé au chef des ateliers; celui-ci examine la nature des réparations à faire et leur répartition entre les divers ateliers partiels; pour chaque catégorie de travaux il donne un bon de commande partiel; par exemple, pour l'atelier des roues, pour la forge, pour l'ajustage, pour le montage et pour la peinture; chaque contre-maître se fait délivrer par le magasin les matières brutes ou fabriquées dont il a besoin, avec une facture indiquant les prix de chaque objet; lorsque le travail qui lui est confié est terminé, le comptable spécial dont il est assisté

dresse une facture qui indique la quantité et le prix des matières brutes ou des pièces fabriquées fournies par le magasin, le montant des salaires des ouvriers pour le temps qu'ils ont employé à l'exécution des travaux commandés ou reconnus nécessaires et autorisés en cours d'exécution; la quantité et le prix du combustible consommé, et enfin la quantité et le prix des vieilles matières à livrer au magasin chargé de leur conservation. Lorsque le travail de réparation est terminé, le chef des ateliers en donne avis à l'ingénieur du matériel, en lui transmettant une facture récapitulative de toutes les dépenses affectées à ce travail, et le tender est remis à la disposition du chef de la traction. Lorsqu'il s'agit de travaux exécutés à marchandage par des ouvriers isolés ou par des groupes d'ouvriers, l'opération devient plus simple; cependant, on tient compte encore de l'emploi du temps des ouvriers, dans le but même d'étudier incessamment les conditions des marchés passés avec eux.

On ne peut répartir entre les différents travaux d'un atelier que la main-d'œuvre spéciale des ouvriers d'art; on répartit en bloc, au moyen d'une règle générale, et par l'application d'un coefficient déterminé à l'avance, et dont on rectifie la valeur au fur et à mesure que l'expérience permet de mieux apprécier les conditions du travail, les frais généraux qui comprennent la main-d'œuvre des hommes d'équipe employés aux manœuvres intérieures, le salaire des surveillants, les dépenses de la force motrice, l'éclairage, la réparation des machines-outils et des engins de toute nature, le traitement des ingénieurs, chefs d'ateliers, contre-maîtres, employés de bureaux, dessinateurs, comptables, et, s'il y a lieu, les frais de loyer des ateliers, les frais d'entretien des bâtiments, etc. Les frais généraux peuvent être appliqués, soit en bloc par un seul chiffre, soit à deux degrés pour chaque atelier partiel, à raison des dépenses qui lui sont propres, et pour l'ensemble des ateliers, à raison des dépenses générales qui ne sauraient être réparties. On peut appliquer le coefficient des frais généraux, soit à la totalité des dépenses réparties, soit seulement à l'un des éléments de dépense, à la main-d'œuvre des ouvriers

spéciaux, par exemple; enfin, ce coefficient peut varier d'un atelier spécial à un autre. Lorsqu'on fait partiellement l'application des frais généraux. Dans l'exemple que nous avons cité, page 518, on compte pour frais généraux 50 p. 100 de la main-d'œuvre constatée par les attachements. On arrive complètement à n'avoir, à la fin de chaque année, qu'une différence très-faible entre le montant total des dépenses constatées par les prix de revient et celle qui résulte de la comptabilité directe; on la passe au compte des profits et pertes.

Dans le service de traction, on doit avoir soin de porter au compte de chaque machine la main-d'œuvre des ouvriers qui travaillent aux réparations courantes, et les matières ou objets fabriqués qu'on y applique. Le coke est chargé, sur les tenders au moyen de sacs ou de paiers d'une capacité connue, et dont on vérifie fréquemment le poids; il est compté à chaque machine; les matières distribuées dans les magasins des dépôts, telles que: huile, suif, graisse, chiffons, etc., sont également appliquées en sortie au numéro de chaque machine, et on a tous les éléments nécessaires pour établir le prix de revient du service effectué, pour chaque catégorie de machines et pour chaque machine isolément.

Nous nous sommes proposé seulement, d'indiquer les principes généraux de la comptabilité des ateliers de chemins de fer; les détails d'exécution varient d'un chemin à l'autre; leur énumération et la reproduction des formules adoptées par chaque Compagnie pour la comptabilité nous entraînerait au delà des bornes de notre programme, qui ne comporte que des généralités pour tout ce qui n'est pas la description de la machine locomotive.

Nous nous contenterons d'indiquer succinctement, comme exemple, le système qui avait été adopté vers 1850 dans les ateliers des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (R. D.), et qui est aujourd'hui assez répandu, pour la constatation du temps employé par chaque ouvrier au divers travaux et la répartition de la main-d'œuvre dans les prix de revient.

Le teneur d'attachement, habituellement employé, est supprimé,

et la présence des ouvriers dans l'atelier est constatée de la manière suivante :

Chaque ouvrier, en entrant, reçoit du surveillant, devant le guichet duquel il est obligé de passer, un jeton portant son nom et son numéro d'ordre; à chaque sortie, soit pour les repas, soit pour la fin de la journée, il rend son jeton. Le surveillant a donc, pendant les heures de travail, le moyen de constater quels sont les ouvriers présents par les jetons qui manquent et les ouvriers absents par les jetons qui lui restent.

Pendant les repas, il peut contrôler les ouvriers qui étaient présents par les jetons qu'on lui a remis, et les ouvriers absents par les jetons qu'on ne lui a pas remis et qui lui restent.

Il y a là, comme on le voit, une constatation complète de la présence des ouvriers à chaque tiers; elle est de plus facile, pratique, et se contrôle d'elle-même.

Deux ou trois minutes suffisent pour délivrer aux ouvriers, à chaque rentrée, leurs jetons respectifs.

Les résultats de ces constatations sont consignés immédiatement en chiffres indiquant le nombre d'heures de chaque séance sur une feuille imprimée, et disposée de telle façon, qu'au bout de la quinzaine il n'y ait qu'à faire les additions, appliquer, dans une colonne en regard, les salaires respectifs, pour obtenir ainsi, du premier coup, une feuille de paye qui exigeait avant près de deux journées pour être établie.

Un système également très-simple est appliqué pour constater l'emploi du temps des ouvriers et leur consommation.

Bons de travail. — Aucun travail, de quelque nature qu'il soit, important, faible, accidentel ou régulier, n'est confié à un ouvrier, ou à plusieurs ouvriers formant une équipe, sans qu'il ne leur soit délivré, par le contre-maître que ce travail concerne, un *bon de travail*, sur lequel sont consignés succinctement le travail à exécuter, avec les indications qui lui sont relatives, le compte en lequel il doit figurer à la comptabilité, et enfin le nom ou les noms des ouvriers qui l'exécuteront.

Ce bon est signé du contre-maitre et daté; il porte de plus un numéro d'ordre relatif, à la commande générale de l'ingénieur, qui a motivé sa création de la part du contre-maitre.

Ce bon est enfin détaché d'un cahier à souche, sur lequel sont portés, succinctement, les mêmes numéros et les mêmes indications.

Bordereaux de l'application du temps aux bons de travail.

Etablissement du prix de revient. — Les ouvriers doivent inscrire eux-mêmes leur temps par tiers sur une feuille, ou bordereau, *ad hoc*, qui leur est distribuée à chaque quinzaine; ils inscrivent également la somme du temps passé par eux à chaque travail sur le dos du bon délivré pour ce travail et en face de leur nom.

Ils ont soin en outre d'inscrire le poids brut et le poids net de la matière employée. Quand le travail est terminé, les ouvriers, en se présentant au contre-maitre pour faire examiner et agréer leur travail, lui rendent en même temps les bons où ils ont eu soin de mettre toutes les indications précédentes; le contre-maitre vise le bon et le remet au comptable, qui n'a plus, comme on le voit, pour établir le prix de revient, qu'à appliquer les prix connus par lui de la main-d'œuvre et de la matière, ajouter le chiffre proportionnel des frais généraux et faire l'addition sur le bon même, qui devient dès lors la minute du prix de revient et une véritable pièce de comptabilité à conserver. Ce prix est alors passé aux écritures comme dans l'ancienne méthode.

On aperçoit immédiatement combien cette marche est simple, rapide, exempte des chances d'erreurs ou d'oublis et des incertitudes que nous avons signalées plus haut.

Contrôle des indications relatives au temps, écrites par les ouvriers.

Nous avons dit que l'ouvrier inscrivait par tiers son temps sur une feuille de quinzaine ou bordereau qui lui était délivré à cet usage. Sur cette feuille sont indiqués, également par l'ouvrier, en regard des totaux partiels, les numéros des bons auxquels ce temps a été employé.

La comparaison du temps inscrit sur les bons avec les temps indiqués sur ces bordereaux, et celle qui fournit le contrôle de la présence au moyen des jetons, permet de vérifier, très-rapidement et à coup sûr, si les ouvriers n'ont pas commis d'erreur. En effet, ils ne peuvent guère se tromper sur les chiffres de temps attribués à chaque bon de travail; ils n'ont d'ailleurs aucun intérêt à cela. L'erreur n'est possible que dans les additions, et celles-ci doivent fournir, en fin de compte, un chiffre égal à la somme des temps inscrits sur les bons et égal aussi au temps de présence constaté par le contrôle des jetons. On a donc un double moyen de vérification; un employé consacre, une ou deux fois par semaine, une demi-journée à chaque vérification.

Les bons de travail forcent les contre-maitres à donner des ordres écrits; par suite il y a moins d'oublis, moins d'erreurs possibles.

La seule inspection du livre à souche suffit pour savoir la nature des travaux exécutés et les noms des ouvriers qui en sont chargés.

Si l'on veut entrer plus avant dans la surveillance, on peut en parcourant l'atelier examiner l'état d'avancement des travaux et leur comparer le temps passé inscrit sur les bons ou les bordereaux; on sent immédiatement combien cette surveillance, facile à tous les instants, tient en éveil ouvriers et contre-maitres.

L'ouvrier ayant toujours sous les yeux le temps qu'il a employé à exécuter le travail qui lui est confié, y trouve une excitation continuelle à ne pas se ralentir dans sa besogne, pour pouvoir présenter au contre-maitre, en lui remettant le travail et le bon qui y est relatif, la preuve qu'il gagne bien son salaire et qu'il ne se laisse pas dépasser par ses camarades. Il y a donc entre eux une émulation continuelle et, pour les contre-maitres, un moyen permanent et mathématique d'apprécier la valeur relative des ouvriers; d'ou il résulte, pour ceux-ci, la nécessité de faire constamment des efforts pour faire mieux et en moins de temps le travail qui leur est confié.

Nous ne saurions trop insister sur les avantages de toute na-

ture, moraux et matériels, qui se sont produits par ce fait d'avoir rendu ainsi l'ouvrier son propre maître, et d'avoir mis sous ses yeux ce qu'il coûte et ce qu'il produit. Il en est résulté pour lui des habitudes d'ordre et de travail très-précieuses, et pour la Compagnie une augmentation de travail utile, qui s'est traduite par une amélioration notable dans les prix de revient.

Cette dernière partie de notre travail contient ce que nous avons trouvé naturellement sa place dans les livres précédents. — Nous y avons réuni divers résultats statistiques sur le service des machines et les faits accidentels qui se produisent pendant leur parcours sur les voies en stationnement. — Ces deux ordres de faits assez distincts ont donné lieu à deux chapitres différents. Dans le dernier, nous avons fait connaître d'une manière sommaire la législation relative aux machines locomotives.

CHAPITRE I^{er}

Résultats statistiques

1^{er} — Parcours des machines

Il importe, pour éviter l'emploi d'un capital trop considérable, d'arriver à obtenir annuellement, et de chaque machine en particulier, le plus grand parcours possible : il importe, en outre, de connaître, lorsqu'on veut se rendre compte *a priori* du nombre de machines nécessaires pour l'exploitation d'un chemin de fer déterminé, d'apprécier le parcours moyen qu'on peut obtenir d'une machine.
En 1848 et 1849, le parcours moyen annuel des locomotives variait entre 14,000 et 23,000 kilomètres; mais ces moyennes étaient calculées sur des chemins de fer de peu d'étendue. La mise en exploitation des grandes lignes a permis d'obtenir des parcours

plus une amélioration notable dans les prix de revient. Comparée une augmentation de travail utile, qui s'est traduite par une augmentation notable dans les prix de revient. Les faits d'exploitation d'ordre moral, et pour la Compagnie une augmentation de travail utile, qui s'est traduite par une amélioration notable dans les prix de revient. Il en est résulté pour lui des habitudes d'ordre et de travail très-précieuses, et pour la Compagnie une augmentation de travail utile, qui s'est traduite par une amélioration notable dans les prix de revient.

CHAPITRE I^{er}

Résultats statistiques

1^{er} — Parcours des machines

Il importe, pour éviter l'emploi d'un capital trop considérable, d'arriver à obtenir annuellement, et de chaque machine en particulier, le plus grand parcours possible : il importe, en outre, de connaître, lorsqu'on veut se rendre compte *a priori* du nombre de machines nécessaires pour l'exploitation d'un chemin de fer déterminé, d'apprécier le parcours moyen qu'on peut obtenir d'une machine.

En 1848 et 1849, le parcours moyen annuel des locomotives variait entre 14,000 et 23,000 kilomètres; mais ces moyennes étaient calculées sur des chemins de fer de peu d'étendue. La mise en exploitation des grandes lignes a permis d'obtenir des parcours

Les parcs moyens valent de 22,000 à 2,000 kilomètres, et la moyenne générale des 156,000,000 de kilomètres est de 26,400 kilomètres par an. Nous pensons que pour une grande ligne, il ne serait pas sage de réduire le nombre de locomotives sur un chiffre aussi élevé, parce que l'on pourrait se trouver embarrassé dans le cas d'un développement subit du trafic.

Il existe ensuite des conditions spéciales de service qui comportent forcément un plus grand nombre de locomotives. Ainsi, par exemple, les chemins de fer spéciaux de banlieue avec des trains de petits parcours exigent plus de locomotives. Les lignes qui transportent des charbons ont un mouvement beaucoup plus fort pendant l'hiver que pendant l'été. Enfin lorsque l'on doit livrer à la circulation de nouvelles sections, il est naturel que l'on ait en réserve du matériel dans ce but, et la moyenne kilométrique peut se trouver ainsi plus abaissée.

Il serait intéressant de se rendre compte du parcours total qu'une machine peut effectuer avant d'être mise entièrement hors de service; mais la plupart des machines qui se trouvent dans ce cas ont cessé d'être employées, parce qu'elles ne répondaient plus, par leurs dimensions et leur mode de construction, aux besoins du service actuel. Quelques personnes pensent même qu'on ne saurait assigner d'autre limite de durée aux machines que l'on construit maintenant avec une grande solidité, que celle qui pourra être tolérée par le progrès de la locomotion, les réparations successives qu'elles reçoivent devant avoir pour résultat leur restauration permanente. La limite de 300,000 km² que nous avons adoptée précédemment, pour fixer les idées, peut être considérée comme fort au-dessous de la vérité.

Sur le chemin du Nord les locomotives Crampton livrées en 1849, atteignaient en moyenne 400,000 kilomètres au mois de décembre 1858, avant encore toutes leurs principales pièces originales. L'une d'elles, livrée en mars 1849, avait atteint à la fin de 1858 le parcours de 462,000 kilomètres.

On ne peut pas en conclure que les machines

CONSUMMATION DE MATIÈRES

Les frais de locomotion entrent pour une portion très-importante dans les dépenses d'exploitation, et la consommation de matières, spécialement en combustible, en forme l'élément le plus important; on a donc dû s'appliquer depuis longtemps à restreindre celle-ci autant qu'il était possible de le faire sans nuire au service, et à augmenter de dimensions des chaudières, l'application de la détente, l'amélioration du combustible, l'application des primes d'économie, l'expérience plus complète du personnel, l'application des contre-poids, ont concouru à ce but. Le résultat a été que depuis 15 années, sur les chemins depuis longtemps exploités, la consommation a été réduite de près de moitié.

La consommation de combustible varie d'une machine à l'autre, et pour une machine d'une saison ou l'autre. Elle varie, aussi avec la charge des trains; ce qui est important à connaître pour un chemin déterminé, c'est la consommation moyenne de l'année pour l'ensemble des machines. Cette consommation se compose de deux éléments qui est à peu près possible de séparer: la consommation pendant la marche des convois et celle qui se produit inévitablement pendant le stationnement et pour l'allumage.

Il ne nous a pas été possible de réunir des renseignements exacts sur la consommation du combustible, rapportée au nombre total de kilomètres parcourus par les machines; il résulte néanmoins de la comparaison des chiffres de contièrès des anomalies dans la consommation sur la plupart des chemins de fer. Pour quelques-uns des résultats qui nous ont été fournis, nous obtenons en divisant par le nombre total de kilomètres parcourus par les machines les quantités vendues par les fournisseurs et livrées au service; pour les autres, ces résultats émanaient des livraisons faites aux mécaniciens, laissant en dehors les déchets produits par les manutentions de tout genre.

Ces chiffres n'eussent pu d'ailleurs avoir pour objet d'établir une comparaison entre les différents chemins car les circonstances propres à chacun, telles que le mode de construction des machines, le profil du chemin, la charge et la vitesse des trains, la longueur des parcours, le poids des véhicules et leur mode de construction, la nature du combustible, le climat, la durée relative du stationnement des machines en feu et du service en ligne, etc., sont autant d'éléments qui peuvent concourir à produire de grandes différences. Nous n'aurions donc pu donner qu'une collection de résultats isolés et sans rapport entre eux; nous avons préféré nous abstenir.

Mais il peut être intéressant, au moins comme exemple des consommations moyennes, de connaître les allocations faites aux mécaniciens sur quelques lignes. Nous prendrons celles des chemins de fer du Nord et de l'Est, entre lesquelles il existe d'assez notables différences dans les conditions du parcours et dans la qualité du combustible.

Au chemin de fer du Nord cette qualité est assez bonne et assez constante; les sections du parcours offrent d'ailleurs, relativement, des conditions assez identiques entre elles; on s'est donc borné à considérer seulement le type de la machine, le nombre de voitures remorquées et la saison, dans les allocations faites ainsi qu'il suit aux mécaniciens par kilomètre parcouru, allumage et stationnement compris.

	ÉTÉ.	HIVER.
Machines à Voyageurs, selon le type le nombre de voitures étant 12 dans un cas et 15 dans l'autre; Allocation de Coke.....	de 0 ^h 7 ^m 80 ^u à 0 ^h 8 ^m 50 ^u	de 0 ^h 7 ^m 80 ^u à 0 ^h 8 ^m 50 ^u
Machines mixtes, avec au plus 18 voitures.....	8.00	8.50
Machines Crampton, avec au plus 12 voitures.....	8.00	8.50
Machines mixtes, avec 18 voitures au plus.....	8.00	8.00
Machines à Marchandises selon le type, Houille.....	de 9 ^h à 12.00	10 à 13.00
Machines à Marchandises; Efferth.....	11.00	12.00

Il est accordé en outre aux trains de voyageurs un supplément

de 1 kilog. 50 pour les trains ayant de 1 à 3 voitures en sus du nombre ci-dessus et 3 kilog. si l'exédant est de 4 voitures et au delà.

Il est alloué aux machines de réserve 250 kilog. pour l'allumage et 10 kilog. par heure de réserve.

Enfin les machines allant à vide ont droit, par kilomètre :
 Les machines à voyageurs..... 4^h 30^m 50^u
 de à marchandises..... 3^h 45^m 00^u

Dans tous les cas, la prime d'économie est pour le coke de la houille, fixée à 6 francs par tonne économisée, mais l'exédant de consommation donne lieu, s'il n'est justifié, à une amende de 1 franc par tonne pour le mécanicien et 35 centimes pour le chauffeur.

Au chemin de fer de l'Est, où les conditions du parcours et du climat offrent de notables différences de nature sur les consommations, et où les combustibles, très variables de qualité, sont en somme généralement médiocres, les allocations varient elles-mêmes suivant les sections de ligne.

Machines à Voyageurs ordinaires.....	de 8 ^h 50 ^m 00 ^u	9.00 à 11.25
Machines Crampton.....	de 8 ^h 50 ^m 00 ^u	9.00 à 10.80
Machines mixtes à 4 roues couplées ayant 100m ² de surface de chauffe.....	de 8 ^h 40 ^m 00 ^u	9.00 à 11.25
HOUILLE DE PRUSSE TRÈS-IMPURE.		
Machines à Marchandises ordinaires, 100m ² de surface de chauffe.....	de 12 ^h 16.00	14.50
Machines mixtes remorquant des trains de marchandises.....	12.50	15.00
Machines Egerth sur tout le réseau.....	50.00	55.00

Nous avons dit qu'il était à peu près impossible de séparer la consommation en marche des consommations accessoires; cependant, en Belgique, on s'applique à faire ressortir séparément

chacun des éléments de cette dépense ; il y a certainement un peu d'arbitraire dans cette répartition, mais cet exemple n'est pas moins instructif. Le chiffre de consommation kilométrique de 1848 se partage ainsi :

- 1^o Pour le parcours 818,25
- 2^o Pour le stationnement 0,93
- 3^o Pour l'allumage 1,61
- 4^o Pour le service 3,14

Le rapport des consommations accessoires à la dépense totale est de 28 p. 100.

Des expériences faites sur le chemin de fer d'Orléans ont donné comme consommation pour allumage et mise en pression 54 kilogrammes de coke, pour stationnement 6 kilog. 15 par heure. Ces chiffres sont définitifs en pratique, il faudrait compter au moins 60 kilog. par heure.

L'influence des différentes causes d'amélioration que nous avons signalées, et qui réduisent encore chaque jour la consommation, deviennent bien manifestes lorsqu'on peut comparer les résultats obtenus successivement pendant une longue période d'exploitation. Sur les chemins de fer belges la consommation du coke est descendue, en seize années (de 1839 à 1855), de 49 kil. à 8 kilogrammes.

Une réduction importante a été produite sur le chemin de fer d'Orléans par une meilleure organisation du service, lorsqu'il a été centralisé au lieu d'être partagé entre deux chefs de service indépendants, dont l'un était chargé de l'atelier de réparation et de l'achat du coke, l'autre de la traction proprement dite, par l'établissement d'un système de réparation permanente dans les dépôts, par l'amélioration de la qualité du combustible, par la

mise hors de service des machines les plus anciennes et les plus défectueuses pour la consommation de coke, par d'importantes modifications apportées aux cylindres et à la distribution, par l'établissement sur une large échelle des primes d'économie et d'entretien, et par l'amélioration des conditions de stabilité des machines. En préparant la réorganisation administrative, on a compté sur une réduction de consommation par les appareils. Nous avons déjà signalé une cause de dépense qui pourra être encore réduite, lorsque l'attention des constructeurs et des ingénieurs sera suffisamment fixée sur ce point : c'est celle qui résulte de l'entraînement de l'eau qui est considérable dans la plupart des machines.

Sur le chemin de fer du Nord, où la vitesse et la charge des trains sont les plus considérables, la consommation du combustible est réduite progressivement sous l'influence de machines analogues. En Belgique, sur le chemin de fer du Nord, d'Orléans et de l'Est, la prime allouée aux mécaniciens et aux chefs de dépôt représente environ 25 p. 100 de l'économie obtenue en argent sur des chiffres d'allocation qui varient avec les perfectionnements de toute espèce apportés dans le service.

Sur diverses lignes, afin d'éviter les retards qui résultent d'une économie exagérée pendant la marche, on ne paye pas la prime aux mécaniciens pour les convois en retard, en outre, 1/5 des amendes infligées à l'entreprise pour les retards leur est compté. Sur le chemin de fer du Nord, pour obtenir ce résultat, on combine avec la prime d'économie une prime d'exactitude pour les trains qui arrivent, à cinq minutes près, à l'heure fixée, et une retenue de 0 fr. 20 par minute pour tout retard au delà de cinq minutes ; la prime d'exactitude allouée aux mécaniciens est de 0 fr. 02 par kilomètre parcouru pour les trains de voyageurs, de 0 fr. 03 pour les trains de marchandises, elle est de moitié pour le chauffeur.

On peut suivre deux systèmes pour les primes d'économie : l'un qui consiste à donner en poids une allocation très-large et à n'a-

tribuer au mécanicien qu'une fraction assez faible de l'économie obtenue; l'autre qui consiste à restreindre l'allocation dans des limites étroites et à allouer au mécanicien 30 à 40 p. 100 de l'économie qu'il réalise. Chaque système a ses avantages et ses inconvénients qu'il faut apprécier dans chaque cas particulier. Le premier intéresse à l'économie tous les mécaniciens, qui ont toujours une prime à espérer; il permet d'imposer des retenues quand les limites sont dépassées. Or, de plus, il n'exige pas le remaniement fréquent des allocations; mais l'appât est moins grand pour les mécaniciens habiles. Le second établit une très-grande différence de primes entre les machinistes habiles et ceux qui sont peu capables ou peu soigneux; mais il peut laisser des mécaniciens sans perspective de primes jusqu'au remaniement de l'allocation et les rendre momentanément indifférents à l'économie.

La consommation de matières grasses pour lubrifier toutes les pièces de la machine, est également un des points sur lesquels on doit surtout fixer son attention dans l'organisation et la direction d'un service de traction, moins à cause de l'importance de cet article de dépense qu'à cause du *coulage* qui peut avoir lieu, on alloue également aux mécaniciens des primes d'économie d'huile et de suif.

Au chemin de fer du Nord et à partir du 1^{er} janvier 1859, les allocations de matières lubrifiantes sont réglées en argent ainsi qu'il suit pour les divers types de machines et par 100 kilomètres. Locomotives ordinaires à voyageurs, 1^{er} type, 2^o 60 et 3^o 60 Crampton, 1^{er} type, 2^o 60 et 3^o 60 à marchandises, 1^{er} type, 2^o 60 et 3^o 60 à marchandises, 2^e type, 3^o 60 et 4^o 00 à marchandises, 3^e type (Egerth), 4^o 00 et 5^o 00

Dans les 2^o 60 de la première allocation les matières lubrifiantes entrent respectivement pour les quantités et valeurs suivantes :
0^o 80 d'huile à 1 fr. 40 le kilog. soit 112
0^o 80 de suif à 1 fr. 40, soit 112
0 . 60 de graisse dure..... 0 . 36

2 . 20	Total	2 . 60
--------	-------------	--------

Dans les autres allocations, les dernières substances lubrifiantes entrent de même, suivant un rapport approprié au service.

La prime d'économie accordée est 30 p. 100 de la valeur économisée; l'excédant de consommation donne lieu, à une retenue du dixième de la valeur consommée en faveur de l'allocation qui précède.

2^o **Frais de traction.** On comprend, sous la dénomination de frais de traction, l'ensemble de toutes les dépenses relatives au service des machines, direction du service, personnel des mécaniciens, chauffeurs, personnel des dépôts, consommation de combustible, de graisse, d'eau, entretien et réparations, des machines et tenders, etc. Pour comparer ces dépenses d'une année à l'autre sur un même chemin, ou d'un chemin à l'autre, on peut les rapporter à une unité commune, au parcours des machines; lorsqu'on veut au contraire les rapporter au parcours des convois, on établit le rapport existant entre ces deux sortes de parcours, qui diffèrent habituellement de 10 à 20 p. 100. La différence représente le parcours des machines pilotes des machines envoyées isolément d'un dépôt à l'autre, et des machines ajoutées comme renfort aux trains lourdement chargés.

Nous avons cherché à réunir, d'une manière comparative, la décomposition des dépenses de traction des grandes lignes, mais la division des dépenses n'étant pas la même, il en résulte des chiffres anormaux. D'autre part, les conditions d'exploitation sont souvent fort différentes; le combustible est beaucoup plus cher pour un réseau que pour les autres; les réparations sont faites, sur certaines lignes, par les mécaniciens eux-mêmes dans une beaucoup plus grande proportion que sur d'autres; de là, exagération de la dépense de personnel et réduction dans les dépenses d'entretien de machines et tenders. Nous donnons, donc, simplement au tableau ci-dessous, les dépenses totales de traction sur quatre grandes lignes, pendant les années 1856 et 1857.

00 . 0	00 . 8
00 . 0	00 . 8

Dépense de traction par kilomètre parcouru

	1857		
	1857	1858	1859
Lyon.....	1.03	0.99	0.99
Est.....	0.87	0.76	0.81

Nous devons faire observer que les chiffres de ce tableau comprenant des prix très-variables de combustible et des éléments différents de dépense, ne sont pas comparables entre eux. En 1851, nous estimions de 1 fr. 40 à 1 fr. 30 le prix de revient normal de la traction sur les chemins de fer français; on voit que maintenant ce prix peut être fixé entre 0 fr. 80 et 1 fr. 05, en le décomposant comme suit :

Personnel et frais de régie.....	0.43	0.42
Combustible.....	0.32	0.42
Huile, graisse, suif, chiffon, eau, éclairage.....	0.05	0.07
Entretien des machines et tenders.....	0.25	0.30

Totaux..... 0.80 à 1.05

Ces résultats sont d'autant plus avantageux que les locomotives employées maintenant sont évidemment beaucoup plus puissantes que celles en usage en 1851; aussi bien pour le service des voyageurs que pour les trains de marchandises. On verra du reste très-bien de la décroissance des frais de traction, en examinant les chiffres du tableau suivant, qui donne pour 10 années le prix de la traction sur le chemin de fer du Nord, en les décomposant suivant l'espèce de locomotive. Ainsi on a mis à part les locomotives à voyageurs et on a distingué même les diverses espèces de

locomotives à marchandises, savoir les petites locomotives qui, sur des rampes de 0,005, remorquent 24 wagons chargés de 10 tonnes; les locomotives moyennes, qui remorquent 30 wagons; enfin les fortes machines Engerth, à 4 paires de roues couplées, qui remorquent 45 wagons.

TABLEAU du Prix de Traction sur le Chemin de Fer du Nord, pendant 10 années, en distinguant les espèces de locomotives.

ANNÉES	MACHINES				ENSEMBLE
	VOTAGERS.	PETITES.	MOYENNES.	PORTER	
1848.....	1.70	1.55	1.40	1.25	1.570
1849.....	1.60	1.45	1.30	1.15	1.482
1850.....	1.50	1.35	1.20	1.05	1.400
1851.....	1.40	1.25	1.10	1.00	1.320
1852.....	1.30	1.15	1.00	0.95	1.250
1853.....	1.20	1.05	0.90	0.85	1.180
1854.....	1.10	0.95	0.80	0.75	1.100
1855.....	1.00	0.85	0.70	0.65	1.020
1856.....	0.90	0.75	0.60	0.55	0.950
1857.....	0.80	0.65	0.50	0.45	0.880

La dépense par kilomètre des fortes locomotives Engerth, en 1857, a été plus faible que la dépense de traction des petites locomotives en 1849 et 1850, et cependant leur puissance est plus que double.

Les chiffres que nous venons de donner ne comprennent pas l'intérêt du capital dépensé pour l'achat du matériel, la construction des bâtiments, des ateliers et dépôts, l'achat de matériel, les dépenses d'entretien des bâtiments et enfin les assurances des bâtiments, de matériel, de matériel roulant, des dépenses de chauffage, de chauffage, de ces éléments dans le prix de la traction, etc.; mais quand on considère d'une manière convenable le motif de l'achat d'une machine, on se rend compte que le service de la locomotion a un caractère essentiel, qui l'a fait reconnaître par les compagnies de matériel construit, qui ont intérêt à ce qu'il y ait de la Compagnie de matériel construit,

les bâtiments nécessaires au service, l'outillage et les engins de toute nature pour l'installation des ateliers, et qui se charge, moyennant un prix fixé à forfait, de l'entretien et de la réparation du matériel roulant et de la traction des convois.

La convenance et l'utilité des arrangements de cette nature ne peuvent pas être discutés comme une question de principe. Le succès d'une opération de ce genre dépend uniquement de l'habileté et du caractère personnels de l'entrepreneur, et de la nature des rapports qui peuvent s'établir entre lui et la Compagnie qui lui a confié ses intérêts. Et il importe, pour éviter les inconvénients graves que pourraient présenter la mauvaise gestion de ces entreprises, que les Compagnies se réservent le droit de résiliation le plus large et le plus absolu.

CHAPITRE III

Accidents.

Nous avons indiqué, dans un livre précédent, quelles étaient les principales réparations auxquelles pourrait donner lieu l'entretien d'une machine locomotive et son tender, il nous reste ici à indiquer la nature des avaries qu'une machine peut éprouver en service et les dispositions que le mécanicien doit prendre en pareille circonstance, en attendant que les réparations puissent être faites; nous ferons connaître, en outre, les accidents résultant de causes générales et les mesures que le mécanicien doit prendre à l'occasion

Nous compléterons cette dernière partie de notre travail par un

résumé de la législation en vigueur pour ce qui concerne la construction des machines locomotives et leur service.

1. Avaries à la machine.

1^o APPAREIL DE VAPORISATION. — La chaudière peut d'abord faire explosion lorsqu'elle présente quelque vice de construction, ou lorsque, par défaut d'exécution ou d'usage, la solidité s'est trouvée altérée; mais les accidents de cette nature ont été jusqu'ici très-rares, et ne peuvent arriver, si la machine a été régulièrement soumise aux épreuves de la presse hydraulique, que par le défaut de soin du mécanicien, lorsqu'il surcharge les soupapes ou lorsqu'il néglige de vérifier ou d'entretenir le niveau de l'eau dans la chaudière. Une explosion proprement dite de la chaudière met toujours la machine complètement hors de service, et donne lieu, pour le rétablissement de la circulation, aux mêmes mesures que les accidents généraux dont nous parlerons plus loin.

La chaudière peut éprouver en service des avaries partielles: il peut se déclarer des fuites dans le foyer, aux rivures, sous les têtes d'entretoises, au joint des pièces rapportées, par des fissures qui se déclarent dans les parois, au joint de la porte, aux joints de tubes sur la plaque tubulaire. Si ces fuites ne sont pas assez abondantes pour éteindre le feu complètement, et si cependant elles sont assez fortes pour ralentir l'activité de la vaporisation, le mécanicien peut, au moyen de quelques précautions, soutenir sa marche, il doit charger, son feu et le maintenir fortement chargé, serrer l'échappement pour entretenir une combustion active, charger fréquemment, et peu à la fois, maintenir le niveau de l'eau élevé, éviter, en un mot, tous les changements brusques, ou trop grands, de température, on peut ainsi achever le trajet en observant, avec une attention soutenue, ces diverses prescriptions, mais, ce n'est, qu'un expédient momentané; la machine doit être réparée si des fuites ne se sont pas fermées d'elles-mêmes et si elles conservent assez d'intensité pour compromettre la régularité ou l'économie du service.

Lorsque les tubes viennent à perdre, ou, dans le langage des mécaniciens, lorsque les viroles viennent à fuir, on ne doit pas chercher à les renfoncer pendant la marche, parce qu'on ébranle tous les tubes et on ne fait qu'augmenter l'intensité des fuites.

Le plomb de sûreté placé dans le plafond du foyer fond quelquefois, et l'eau et la vapeur sont projetées avec violence sur le foyer; il faut alors jeter le feu aussi rapidement que possible.

Les tubes crèvent quelquefois près de la plaque tubulaire de la boîte à feu; l'eau se trouve projetée dans le foyer et s'y convertit en vapeur, en telle abondance qu'il est souvent difficile de découvrir le tube crevé, surtout si la machine n'est pas en marche; il convient alors de la faire marcher pour entraîner l'eau, la vapeur et les cendres dans la boîte à fumée. Il faut, en outre, ouvrir immédiatement les deux pompes, afin d'empêcher l'eau de baisser pour éviter de brûler le foyer, et, en même temps, afin de faire tomber la pression dans la chaudière, on chasse, avec la tringle à tamponner les tubes, un tampon en bois blanc qui ferme le tube du côté du foyer; on arrête la machine et on tamponne le tube dans la boîte à fumée.

Il arrive quelquefois que les tubes crèvent complètement au lieu de se fendre, ou que l'ébranlement produit par un premier tube crevé détermine la rupture de plusieurs autres tubes également usés; si le mécanicien reconnaît qu'il ne peut pas maintenir le niveau de l'eau, il doit se mettre en mesure de jeter le feu, tout en alimentant aussi activement que possible et en continuant à maintenir la machine en marche. S'il est impossible de jeter le feu assez rapidement, le mécanicien doit l'éteindre avec de l'eau puisée dans le tender, mais en prenant toutes les précautions nécessaires pour ne pas étonner les parois du foyer par une contraction trop subite. Lorsqu'on jette le feu, on doit, autant que possible, détacher la machine du convoi, pour éviter d'incendier les wagons; s'il était impossible de le faire, on ne doit marcher qu'assez lentement, pour éviter de faire dérailler les wagons si les barreaux de la grille tombent sur les rails.

Lorsque la machine est pourvue d'un cendrier, les barreaux et

le coke y tombent: le mécanicien les pousse avec sa lance pour les faire tomber du cendrier sur la voie, et lorsqu'il s'est débarrassé de la plus grande partie du coke incandescent, il arrête, et le chauffeur fait tomber le reste en le poussant par la petite porte de derrière du cendrier, si celui-ci n'est pas complètement ouvert. Si le mécanicien est obligé de jeter le feu pendant que la machine est en service sur la ligne, il attend la machine de secours, en tâchant de rejoindre le train, s'il reste encore assez de vapeur dans la machine; il doit, dans tous les cas, lorsqu'il s'est séparé du train pour jeter le feu, tâcher de rester en vue ou se mettre en rapport avec le chef du train, afin de faire connaître à quel point il s'est arrêté, pour le cas où une machine survenant à l'arrière, pousserait les wagons qui encombrant la voie.

Lorsqu'il se déclare des fuites abondantes dans les joints du cadre qui relie le foyer et son enveloppe à leur partie inférieure, il n'y a d'autre précaution à prendre qu'à maintenir le feu bien actif, et à soutenir l'alimentation, pour le cas, du reste fort rare, où ces fuites pourraient compromettre la marche de la machine.

Il arrive quelquefois que des barreaux de la grille tombent en route; si le combustible s'échappe en abondance de la grille, il faut marcher avec précaution jusqu'au dépôt ou jusqu'à la station la plus voisine, où le chauffeur déplace s'il se peut les barreaux adjacents et tâche de rétablir une répartition régulière; si la grille n'est plus suffisamment garnie, il faut changer de machine.

Les fuites à l'extérieur de la chaudière ont en général peu d'importance et ne donnent lieu à aucune mesure spéciale en attendant la réparation; si l'eau coule ou se condense avec quelque abondance il faut éviter qu'elle tombe sur les boîtes à graisse et sur les articulations qu'on doit maintenir lubrifiées; elle pourrait les faire chauffer en déplaçant et en faisant perdre l'huile contenue dans les réservoirs.

Les enveloppes en feutre se calcinent par un long service et prennent feu spontanément ou accidentellement, lorsque la flamme sort par-dessous la grille ou lorsque la machine séjourne trop longtemps au-dessus d'un tas de coke incandescent quand on

jette le feu; on l'éteint avec soin en prenant de l'eau dans le tender.

Il arrive quelquefois que la petite porte placée à la partie inférieure de la boîte à fumée s'ouvre pendant la marche; le mécanicien doit s'assurer, lorsqu'il voit tomber la pression d'une manière anormale, malgré ses efforts pour la maintenir, si cela n'est pas dû à l'ouverture de cette porte; il tâche de gagner la station la plus voisine, où s'arrête en route pour la fermer et l'assujettir solidement.

La rupture de la cheminée a lieu quelquefois lorsqu'elle vient frapper des échafaudages mal placés sous les ouvrages d'art en réparation, ou même, au début du service, des ouvrages trop bas, elle a lieu encore spontanément par suite d'une usure trop prolongée. Si la rupture se fait vers le milieu, en chargeant beaucoup le feu et en maintenant un tirage très-énergique, on peut quelquefois se tirer d'affaire quand la grille a une grande surface. Si la rupture a lieu vers le bas, et que les circonstances de la rupture ne permettent pas de redresser la cheminée et de l'assujettir à peu près avec des cordes, il faut arrêter le train, décrocher la machine et tâcher de la conduire sur une gare d'évitement pour qu'elle ne gêne pas le service de la machine de secours.

Les accessoires de la chaudière éprouvent des avaries qui peuvent entraver complètement le service. Quelquefois les ressorts des balancés qui commandent les soupapes se brisent; si la soupape n'est pas déplacée sur son siège, on fixe le levier au moyen de cordes et la machine peut continuer son service, à moins toutefois que la seconde soupape n'éprouve le même accident; dans ce dernier cas, il faut alimenter, ouvrir l'échappement et le registre, de manière à maintenir avec certitude une pression convenable dans la chaudière, sans s'exposer à produire un excès de vapeur, et gagner le dépôt le plus voisin où l'on change de machine; si la machine n'avait pas son manomètre en bon état, il ne faudrait pas hésiter à jeter le feu. On doit également jeter ou éteindre le feu sans perdre un instant, si le clapet de la soupape s'est dérangé de son siège et laisse une large issue à la vapeur, ou si, par la

rupture de la tige même, de la balance ou du levier, le clapet de la soupape a été projeté au loin.

Dans un niveau d'eau qui fonctionne bien, l'eau doit toujours osciller en marche; lorsque l'eau reste stationnaire ou n'oscille que faiblement, il y a lieu de penser que les tuyaux de communication avec la chaudière sont obstrués en partie; il faut fermer successivement le robinet du haut et du bas en ouvrant le robinet de vidange; on détermine ainsi un courant rapide d'eau qui suffit généralement pour rétablir le jeu de l'appareil; en ouvrant les deux robinets de communication à la fois et refermant brusquement le robinet de vidange, on voit la colonne d'eau paraître dans le tube et osciller fortement, on reconnaît ainsi que l'on peut compter sur les indications du niveau. Le mécanicien doit vérifier fréquemment l'état de son niveau et le purger pour le maintenir en bon état; cette vérification doit être faite surtout lorsque la machine est en stationnement, car en marche, le mécanicien juge à peu près par l'échappement, de l'état du niveau de l'eau dans la chaudière. On ne doit jamais allumer une machine avant d'avoir vérifié l'état du niveau d'eau et celui du robinet d'épreuve. Lorsque le tube en verre casse pendant le service, il faut s'empresse de fermer les deux robinets de communication et remettre un nouveau tube dès que la machine a quelques instants de stationnement. Les mêmes vérifications doivent être faites de temps en temps pour les robinets d'épreuve.

Lorsque le sifflet d'une machine vient à se déranger en route et à être mis hors d'état de service, il faut ralentir et ne marcher qu'avec une extrême précaution jusqu'au dépôt le plus voisin où l'on doit changer la machine, à moins qu'on ne mette la machine-pilote en tête.

Lorsque les bouchons et robinets de vidange viennent à sauter, il faut éteindre et jeter le feu sans perdre un instant, car la chaudière se vide complètement en très-peu de temps.

Les pompes alimentaires donnent lieu à de fréquentes avaries; le dérangement le plus fréquent provient de ce que le clapet ou le boulet d'une des soupapes d'aspiration ou de refoulement ne

service, cependant, en baissant le niveau de l'eau, en marchant lentement, et en tenant le levier de changement de marche près du sommet du secteur pour pouvoir le mettre facilement au point mort, on peut gagner tant bien que mal un dépôt et changer la machine.

Si l'on n'y a qu'une fissure ou un joint mal fermé, on baisse également le niveau de l'eau, surtout si le tuyau est près de sa surface; dans le cas où le régulateur est dans la boîte à fumée, il n'y a pas d'autre inconvénient que l'entraînement de l'eau dans les cylindres; mais, si l'est dans l'intérieur de la chaudière, il faut continuer la marche en ne comptant plus que sur le levier de changement de marche pour l'arrêt; il faut maintenir une pression assez basse pour rester maître du mouvement des tiroirs, et s'y prendre de loin pour arrêter, aux stations, car un excès de pression et de frottement des tiroirs ou un dérangement quelconque pourrait empêcher de renverser la marche et même de mettre au point mort; il faut pouvoir arrêter avec les freins seuls. Les mesures que nous venons d'indiquer ne sont que des expédients pour achever un voyage ou un tour de service; jamais on ne doit mettre en service une machine qui présente des fuites de vapeur un peu importantes au tuyau intérieur de prise de vapeur.

Le régulateur éprouve lui-même des dérangements qui doivent donner lieu aux mêmes précautions que dans le cas précédent; il arrive quelquefois que les articulations qui transmettent le mouvement au tiroir qui forme le régulateur se démontent, ou que les liges de communication se brisent ou se déplacent, alors le régulateur ne se ferme plus; dans quelques machines on a eu soin de placer ce tiroir verticalement et de le faire ouvrir en montant, afin qu'il retombe et ferme de lui-même le tuyau de prise de vapeur; la machine se trouve alors réduite à l'impuissance, et on prévient le danger de la marche sans régulateur.

Des fuites se manifestent quelquefois dans les tuyaux de distribution à l'intérieur de la boîte à fumée; si elles sont assez abondantes pour épuiser la vapeur de la chaudière et gêner le tirage, de telle sorte qu'on ne puisse pas compenser leur effet en activant

la combustion, il faut arrêter et lâcher de les fermer au moyen d'une garniture au minimum, et, si on n'y parvient pas, attendre la machine de secours.

Le tuyau d'échappement peut éprouver quelques fuites qui gênent le tirage; on y remédie sans difficulté en activant un peu la combustion. Les valves de la tuyère peuvent prendre du jeu à la charnière et cesser de se fermer d'une quantité suffisante pour maintenir le tirage; mais cette avarie ne se produit généralement que peu à peu; si elle se manifestait en route, il faudrait employer tous les moyens pour activer le feu, jusqu'au moment où l'on pourrait changer la machine à un dépôt ou en prendre une de renfort.

2^e MÉCANISME. — Les pièces du mécanisme éprouvent des avaries assez fréquentes, mais le plus souvent sans danger pour la sécurité du convoi. Les pistons soumis à des mouvements alternatifs d'une très-grande rapidité sont exposés à des ruptures, soit de la tige, soit des plateaux; les bielles peuvent se rompre, et le piston abandonné à lui-même vient frapper les fonds du cylindre; il en résulte presque toujours la rupture du cylindre ou au moins de son plateau; on démonte la bielle motrice, les colliers et barres d'excentrique, ou seulement la tige du tiroir si l'éminchement de celle-ci le permet, puis on fixe le tiroir au milieu de sa course; on marche ensuite avec un seul cylindre si la charge du convoi le permet; si la tige du piston s'est brisée et séparée de la coquille et que le piston ait été extrait du cylindre, on peut se contenter de démonter la distribution.

Les segments de piston se brisent quelquefois ou se dérangent par suite de la rupture des ressorts ou des vis intérieures de serrage; la vapeur passe librement d'un côté à l'autre du piston et se perd par le tuyau d'échappement, il faut encore démonter la bielle et la distribution et mettre le tiroir au point mort.

Il peut devenir également nécessaire de démonter la bielle et la distribution si les glissières grippent assez fortement pour que leur conservation soit compromise. Dans ce cas, comme dans tous ceux où il faut interrompre le jeu du tiroir du piston sans que

celui qui se voit hors de service, il faut par lieu de mettre le tiroir
 au point mort, le pousser à bout de course vers l'avant ainsi que
 le piston, qui se trouve ainsi dans l'habitement pressé par la vapeur sur
 la même face et qui ne peut pas se décaler; si l'on mettait sim-
 plement le tiroir du point mort, il pourrait se décaler du bien il
 pourrait exister des fuites et la vapeur pourrait déplier le piston
 et le franchir notamment comme le fond du cylindre opposé à celui
 sur lequel il est appuyé; il serait nécessaire de le caler dans cette
 position et de l'intercaler quelque chose en bois dans les glissières,
 mais cela se complétement inutile, lorsqu'on pousse au contraire
 le tiroir à bout de course; au lieu de cela, on lui a fait un habitement
 si étroit que les glissières s'y viennent à frotter, on fait d'abord les ra-
 nettes et avec de l'huile, puis les graisser avec soin à tous les arrêts
 et les asperger d'huile pendant la marche; on arrive ainsi à les
 empêcher de gripper jusqu'au terme du voyage où l'on fait des ré-
 parations nécessaires; mais lorsqu'on a cessé de les graisser, on
 les graisse manifestement quelquefois des fuites abondantes autour des pis-
 tons; quand on les a arrêtés, on les reconstruit simplement de la va-
 peur qui pousse de l'échappement, quand on démante où qu'on mar-
 che mentement, que les fuites de vapeur entre le tiroir et la valve,
 lorsque le contact n'est pas parfait, produisent un bruit anormal,
 mais plus étendu et d'un son différent, que l'on distingue avec un
 peu d'habitude, surtout en appliquant l'oreille contre le span de
 la boîte à l'endroit où se trouve le piston; lorsqu'il y a fuite abondante
 par le piston, il faut s'assurer si l'on n'entend pas un frottement
 intérieur, démontre le tiroir de quelque pièce intérieure; et si le
 mode de construction du piston fait craindre quelque variété plus
 grave, arrêter le piston et rompre le jeu du piston en de la distri-
 bution; se; est une simple fuites et que'elle soit un peu abondante,
 l'on arrive au dépôt; puis l'on bese les segments; opération très-
 facile et qui exige peu de temps; la construction des pis-
 tons est convenable, et lorsque de plate au cylindre est fixé par
 un joint dans le même au même on reconstruit facilement quel
 que celui des deux pistons qui se; l'en menant successivement
 chaque un au point mort, on fait ainsi marcher la machine à la

pince, on ouvrant les régulateur après avoir calé les roues de la
 machine et serré le frein du tendant; on s'assure, si c'est un tiroir
 qui pousse, et celui des deux tiroirs, que par d'un ou deux les robin-
 nets purgeurs du cylindre pendant que le tiroir est arrêté; on doit
 faire les en charge pour les fuites du tiroir, il n'y a d'autre en-
 sure à prendre que la réparation au dépôt; on a des têtes de piston
 dans les cas où le piston est grippé; ces têtes se trouvent dans la diffé-
 rente avec laquelle la machine démontre à la marche et à la; bruit
 sourd; égale à une sorte de trépidation de la machine; il faut grais-
 ser fréquemment si le piston a été arrêté; on a des têtes de piston
 craindre de rayer le cylindre, ce qu'un mécanicien ne peut appré-
 cier qu'avec un long et expérimenté; il faut arrêter, dégraisser le
 piston et graisser souvent; en l'arrêtant, du fait; on a bon-
 d'ance dans le cylindre; on a des têtes de piston; on a des têtes de piston
 Les bielles motrices donnent lieu à des accidents fréquents, parfois;
 quelquefois elles cassent, principalement dans les bielles, ou cha-
 que; il faut alors décomposer la bielle; on a des têtes de piston; on a des têtes de piston
 course le piston et son tiroir après avoir démonté les excentriques
 ou démonté le tiroir du tiroir; la même précaution doit être prise
 lorsque la clavette du piston de la bielle se déchire ou se rompt.
 Souvent les coussinets de tête de bielle se cassent lorsque le bronze
 est trop dur, ou lorsqu'ils ont du jeu autour du manillon, ou enfin
 lorsqu'ils ne sont pas serrés à l'application la tête; mais généralement
 la machine peut continuer la marche sans inconvénient si
 l'accident le plus fréquent qui arrive aux bielles est de chauffer
 fortement, le tourillon s'échauffe et devient bien difficile; il faut se
 décomposer de telle sorte qu'on n'ait pas de la machine; on a des têtes de piston; on a des têtes de piston
 même pendant la marche; on a des têtes de piston; on a des têtes de piston
 si la bielle chauffe trop fortement, qu'on ne puisse pas empêcher
 quelle ne grippé; on a des têtes de piston; on a des têtes de piston
 faut arrêter, on se rafraîchit le tourillon et la tête de la bielle avec
 de l'eau froide; on dégraisse la clavette; et on donne un peu de jeu
 au coussinet; cela suffit ordinairement; si les accidents de frottement
 n'ont pas grippé; on a des têtes de piston; on a des têtes de piston
 porter remède; on graisse avec soin et surtout avec du suif, on

remet facilement la machine en bon état. Les observations qui précèdent s'appliquent aussi bien aux manivelles d'essieux coudés qu'aux tourillons de machines à cylindres extérieurs.

Les mêmes précautions sont à prendre pour les bielles d'accouplement, lorsque leurs coussinets chauffent; lorsqu'elles se cassent ou que leurs chapes ou clavettes se brisent et qu'il devient nécessaire de les démonter, il convient de démonter la bielle correspondante de l'autre côté de la machine, qui risquerait de se fausser ou de se briser si elle travaillait seule.

Les essieux moteurs de machines à cylindres intérieurs se cassent quelquefois dans le coude de la manivelle; la machine se trouve alors mise hors d'état de fonctionner; mais l'accident n'a généralement pas de gravité, surtout si l'essieu est guidé par un double système de longerons. On doit arrêter en faisant serrer les freins et *non en renversant la vapeur*; ce qui pourrait forcer les plaques de garde et occasionner un accident qui n'aurait pas eu lieu sans cela; ou même suivant le point de rupture par rapport aux excentriques, produire un effet inverse de celui qu'on attend du renversement de la vapeur. Lorsque le train est arrêté, le mécanicien prépare la machine pour la faire remorquer par la machine de secours; il place des cales sous les boîtes à graisse des roues d'avant et d'arrière, desserre les ressorts de l'essieu moteur, en soulève les fragments, place des cales sous les boîtes à graisse, et assujettit les bouts d'essieu avec des cordes; il met ainsi la machine en état de rouler, sans que les roues motrices touchent les rails; si le régulateur perd, il tient les robinets purgeurs ouverts pour éviter la mise en mouvement des pistons; il doit enfin s'abstenir de jeter son feu tant que la machine n'est pas en état de se déplacer; pour éviter de mettre le feu à l'enveloppe de la chaudière; il couvre son feu avec du sable ou de la terre, ou l'éteint avec de l'eau; si le niveau est trop bas à l'intérieur, ou s'il y a des fuites, on y remédie d'abord et on s'occupe ensuite de la machine.

Il arrive souvent que, sans que cette avarie ait lieu, les coussinets et les fusées chauffent, ou, comme on dit, que les boîtes à graisse chauffent par une des causes indiquées ci-dessus.

Des dispositions semblables doivent être prises toutes les fois qu'une bielle se fassée ou brisée et qu'il est impossible de la démonter.

Les tourillons des manivelles, dans les machines à cylindres extérieurs, ou ceux des manivelles d'accouplement, peuvent se rompre ou plutôt se couper, lorsqu'un mécanicien peu attentif laisse chauffer, outre mesure, une tête de bielle; il faut, dans ce cas, arrêter et démonter toutes les pièces dont le jeu se trouve paralysé par cet accident.

Les pièces de la distribution sont exposées, comme celles du mécanisme moteur, à des avaries assez fréquentes; les colliers d'excentriques trop serrés peuvent chauffer; on les desserre et on les graisse abondamment. Lorsqu'il y a rupture de pièces, colliers d'excentriques, tige ou cadre de tiroir, coulisse, bielle de suspension, etc., et que la distribution ne peut plus fonctionner, il faut arrêter, démonter les pièces brisées et celles qui sont solidaires avec elles, pousser le tiroir à bout de course, démonter la bielle motrice, pousser également le piston à bout de course et marcher avec un seul piston; on ne peut pas se dispenser de démonter la bielle en mettant le tiroir au point-mort; parce que le mouvement du piston à sec serait nuisible à sa propre conservation et à celle du cylindre, et qu'il en résulterait des résistances qui pourraient empêcher la machine de marcher. Lorsqu'une poulie d'excentrique se décale, il faut recourir aux mêmes mesures, à moins qu'elle ne porte une vis servant à la fixer; on ramène la poulie à sa place et on serre la vis si elle est encore en état.

Le dérangement ou la rupture de l'arbre de changement de marche, de ses bielles, de ses leviers et contre-poids, empêche le mécanicien de diriger la machine; si c'est une bielle de suspension d'une coulisse ou le levier de commande qui se brise, on enlève la pièce brisée, et si la coulisse est distribuée pour la marche en avant dans sa partie supérieure, la coulisse, tombant par son propre poids, la machine peut continuer sa marche; si la coulisse distribuait au contraire pour la marche en avant par la partie inférieure, on la débarrasse des pièces brisées et on la suspend à un support

no justifica tel et :pôsent tel anch noitoubrenon ob sony tel oc de la chaudière ; il faut avoir soin, dans le premier cas, de démonter le contre-poids pour que la seconde coulisse puisse se maintenir facilement dans la même position que la première ; il faut au contraire le conserver, dans le second cas. Si c'est l'arbre de distribution, lui-même, la bielle de transmission ou le levier de changement de marche, qui ont manqué, on dispose les deux coulisses comme on l'a indiqué ci-dessus. On procède d'une manière analogue pour les machines où les barres d'excentriques agissent directement sur les tiroirs sans l'intermédiaire d'une coulisse. Ces dispositions ne doivent être prises que pour attendre le dépôt le plus voisin, le mécanicien doit alors marcher lentement pour y arriver, car il est toujours dangereux de marcher sans pouvoir renverser la vapeur. Il faudrait s'arrêter immédiatement et jeter le régulateur n'était pas en bon état et donnait lieu à des fuites abondantes.

3° **Cassus et supports.** Les accidents qui peuvent arriver aux pièces qui portent la machine sont ceux qui intéressent le plus directement la sécurité, car quelques-uns d'entre eux peuvent occasionner des déraillements.

Le châssis proprement dit n'est guère susceptible d'avaries en service ; si quelque fissure vient à se déclarer, on peut généralement continuer la marche jusqu'au retour de la machine à l'atelier. Il en est de même pour les plaques de garde qui ne cassent pas subitement lorsqu'elles sont trop faibles, et qui cèdent, à la longue, à la fatigue du service.

Les ruptures de boîtes à graisse et de coussinets ne sont généralement pas graves ; il suffit alors de graisser fréquemment et abondamment pour empêcher les fusées de chauffer. Il arrive souvent que, sans que cette avarie ait lieu, les coussinets et les fusées chauffent, ou, comme on dit, que les boîtes à graisse chauffent. Cela peut résulter des causes suivantes :

1° Le mauvais ajustement des parties frottantes ; les surfaces frottantes étant dans ce cas très réduites, l'huile ne peut plus rentrer entre les métaux pour les lubrifier ;

2° Un vice de construction dans les fusées ; le fer pailleux ou mal soudé ou rapidement les coussinets et produit de la fumée, et la boîte chauffe promptement ; le bronze s'incorpore au fer de telle sorte qu'il devient, indépendamment des précautions à prendre en route, nécessaire de lever le régulateur de la machine, de fermer la fusée ou de la tourner pour enlever les parties courbées, mâtter les pailles, etc. Si y a des fissures un peu prononcées, on abat les bords et l'on met un méplat de manière à ce qu'elle ne touche pas le coussinet ;

3° Le défaut d'ajustement du coussinet, lorsqu'on l'a donné exactement le même diamètre qu'à la fusée ; il faut qu'il ait environ 1/2 millimètre de plus que la fusée pour qu'il ne la pince pas dès qu'elle hédit légèrement.

4° La usure des rainures ou patées d'araignée, qui distribuent l'huile sur la fusée ;

5° L'introduction du sable ou de matières dures entre les fusées et le coussinet, ou même celle de l'eau qui tombe de la chaudière ou des pompes et qui chasse l'huile du réservoir ;

6° Un excès de charge provenant d'un vice de construction de la machine, ou plus souvent du mauvais réglage des ressorts ;

7° Un excès de vitesse, lorsque les fusées n'ont pas une surface de frottement suffisante pour y résister, ou que la matière du coussinet n'a pas la dureté voulue ;

8° La mauvaise qualité de la matière lubrifiante qui épaisse vite ou devient trop liquide et s'échappe trop des pièces frottantes.

Lorsqu'une fusée chauffe, le mécanicien en est averti par le bruit que l'huile chaude, qui prend même feu quelquefois lorsqu'on se heurte par accident, abaisse l'huile ; il n'importe donc d'y faire attention et y porte pas un remède assez prompt ; il n'importe donc d'y faire attention et y porte pas un remède assez prompt ; il n'importe donc d'y faire attention et y porte pas un remède assez prompt ; pendant la marche, qu'il en recherche la cause ; si elle est due à l'échauffement d'une boîte à graisse ou d'un coussinet, on voit bientôt l'huile bouillir dans le réservoir, les coussinets et les patées brunir ; il doit, sans attendre que ces signes se manifestent, arrêter la machine, en ouvrir le réservoir et enlever l'huile qui a été retenue d'abord, et, si l'échauffement augmente et arrive à point

qui vient d'être indiquée, arrêter de suite. Lorsque la machine est arrêtée, le mécanicien verse sur la partie échauffée une grande quantité d'eau propre, aussi froide que possible, jusqu'à ce que les pièces ne soient plus que tièdes; il enlève avec un chiffon l'eau qui peut rester dans le réservoir; à hâte, il rajuste les machés ou les remplace, et remplit le réservoir d'un mélange de suif, de graisse de wagon et d'huile; si l'échauffement continue, il le renouvelle en y ajoutant un peu de sel de soude. Lorsqu'une boîte à graisse chauffe fortement, le mécanicien, après l'avoir refroidie, doit s'assurer si les lumières des coussinets ne sont pas bouchées et si l'huile qui y est introduite passe entre la fusée et le coussinet, at quel cas elle tombe par-dessous goutte à goutte; il y introduit un fil de fer pour enlever la limaille et le cambouis qui les obstrue. Il faut, dans tous les cas, ne remettre la machine en marche que lentement, et ne lui rendre que graduellement sa vitesse. Si le mécanicien reconnaît, ou a lieu de supposer que l'échauffement est produit par un excès de charge, il desserre le ressort correspondant, mais ce palliatif ne doit être employé qu'avec beaucoup de mesure, parce que l'inconvénient pourrait ne faire que se déplacer.

Lorsqu'un ressort de suspension vient à se briser, on peut continuer à marcher s'il n'y a qu'une feuillle cassée et que le ressort conserve encore sensiblement sa forme; s'il y a plusieurs feuillles rompues, et que la machine s'incline sur ses supports, qu'en même temps la charge de la roue à laquelle correspond le ressort brisé devienne trop faible pour que la marche puisse être continuée avec sécurité, il faut soulever le bâtis avec un crié et placer des cales en bois entre la boîte à graisse et le sommet de l'ouverture de la plaque de garde; on peut alors continuer la marche à une vitesse modérée, pour ne pas fatiguer l'essieu et la machine, jusqu'au dépôt le plus voisin où l'on change la machine.

Les bandages trop serrés ou mal soudés se brisent quelquefois, surtout au commencement de leur service et dans les temps de gelées; les boudins peuvent se décoller, lorsque la fabrication est vicieuse; si la rupture du bandage est instantanée et complète, ou

qu'on ne l'aperçoive pas à temps, elle peut occasionner un déraillement avec toutes les conséquences qui en résultent, lorsque les rivets sont arrachés, et la roue complètement dépouillée de son bandage. Si les rivets ne sont pas arrachés et que le bandage soit encore épais et solidement fixé par les rivets, il faut continuer la marche à la vitesse de 4 à 5 km. à l'heure au plus, après avoir fait protéger le train à l'arrière par les signaux habituels, et tâcher de gagner une voie où l'on gare la machine; si les bandages sont minces et les rivets peu solides, il faut redoubler de précaution et ralentir encore plus que dans le cas précédent. Lorsque le bandage est séparé en totalité sans que la machine soit sortie de la voie, on peut marcher avec cinq roues, si l'accident n'a pas eu lieu à une roue d'avant, en calant le châssis sur les boîtes à graisse, de façon à maintenir le niveau de la machine, et en plaçant des cales sous la boîte à graisse de la roue qui a perdu son bandage, de manière à ne pas la faire porter sur le rail.

Lorsqu'une roue se décale, il faut arrêter le plus promptement possible, même lorsqu'elle n'a pas encore éprouvé un déplacement très-considérable, car, on peut venir heurter un contre-rail de passage à niveau ou de pont et occasionner un déraillement. Le mécanicien essaie de remettre la roue à sa place en mettant un peu de sable fin sur la clayette pour la fixer momentanément par frottement, et, s'il y parvient, il marche avec beaucoup de précaution, en surveillant toujours la roue jusqu'au plus prochain dépôt. S'il y a impossibilité de remettre la roue en place, il faut attendre l'arrivée de la machine de secours, en soulevant l'essieu désemparé, si l'on peut y parvenir.

Les ruptures d'essieu sont les accidents les plus graves qu'une machine puisse éprouver, elles sont devenues, du reste, de plus en plus rares, au fur et à mesure que la fabrication des essieux bruts s'est améliorée et qu'on leur a donné des proportions plus convenables. Nous avons déjà dit ce qu'il y avait à faire en cas de rupture d'un essieu coté dans la manivelle; les mêmes précautions seraient à prendre si la rupture avait lieu dans une autre de ses parties. Les ruptures d'essieux proprement dites ont lieu géné-

ce cas, il doit toujours se tenir d'une main à la rampe de la machine, pour éviter de tomber à la renverse si les chaînes de sûreté venaient à se casser. La possibilité d'une rupture complète de l'attelage de la machine au tender nécessite la présence permanente du mécanicien sur la plate-forme de la machine; car, si celle-ci venait à se séparer pendant qu'il est sur le tender, elle prendrait une vitesse aveugle, sans guide, et pourrait occasionner les plus graves accidents; le chauffeur doit, autant que possible, se tenir sur le tender; dans aucun cas on ne doit se placer sur la plaque de jonction qui couvre la séparation existant entre la machine et le tender.

5° DÉRAILLEMENT. — Le déraillement d'une machine peut être occasionné par la rupture d'un bandage, d'un essieu ou même d'un ressort, par une répartition vicieuse de la charge coïncidant avec un mouvement de lacet très-prononcé, par le mauvais état de la voie, par la rencontre d'un obstacle, etc.

En règle générale, lorsqu'un déraillement a lieu, le mécanicien et le chauffeur ne doivent jamais chercher à sauter sur la voie pour se mettre à l'abri des conséquences de l'accident; l'expérience, indépendamment de tout raisonnement, a suffisamment démontré qu'ils couraient toujours plus de danger à sauter qu'à rester à leur poste; c'est du reste pour eux un devoir impérieux de tenter, jusqu'au dernier moment, tous les efforts possibles pour amortir la vitesse du convoi, en serrant le frein du tender, renversant la vapeur, s'il y a lieu, et surtout en faisant serrer très-vivement et très-énergiquement les freins des wagons. Ils doivent seulement se tenir, l'un sur la plate-forme de la machine, l'autre sur le tender, de manière à ne pas se faire prendre les jambes entre la machine et le tender, celui-ci montant souvent sur la plate-forme de la machine.

Le mécanicien, et le chauffeur sous sa direction, en réunissant les secours de main-d'œuvre qu'ils peuvent trouver dans le train ou parmi les agents et ouvriers employés aux travaux de la voie, doivent immédiatement prendre toutes les mesures nécessaires

pour préparer le déblaiement de la voie. Si la machine circule isolément, ils doivent, avant tout, s'assurer si la voie ou les deux voies obstruées sont interceptées par des signaux; s'ils sont avec un train, ce soin appartient au chef de train, et à son défaut aux conducteurs; ils doivent cependant s'informer de ce qui a été fait. Ils examinent enfin l'état du foyer, s'empressent de jeter le feu, si cela est possible, ou de l'éteindre avec précaution en y jetant de l'eau; si la machine a conservé sensiblement son niveau, que le ciel du foyer soit encore couvert d'une quantité d'eau assez considérable, que la machine ne présente pas de fuite, et qu'il soit possible de la relever dans un temps assez court pour que la vaporisation ou les fuites ne fassent pas découvrir le ciel du foyer, ils capuchonnent la machine avec soin et couvrent le ciel du foyer, du sable ou de la terre.

Le mécanicien doit seul diriger les manœuvres en attendant du secours; il remet ensuite le commandement au chef de dépôt qui vient au secours, ou à tout autre employé supérieur de la traction qui survient; il veille avec soin à ce que personne ne se mêle de commander ou de donner des avis, car rien n'est plus gênant et n'entraîne une plus grande perte de temps qu'un défaut d'ensemble dans l'exécution des manœuvres nécessaires pour relever une machine. Il examine ensuite la situation de la machine et du tender, et tâche de se rendre un compte exact des manœuvres qui conviendront le mieux pour remettre les choses en état; il y a toujours, en fin de compte, une économie de temps considérable, à ne pas commencer précipitamment l'opération du relevage. Le mécanicien fait réunir les engins et matériaux qui peuvent être nécessaires, et lorsqu'il a combiné ses manœuvres et réuni ses moyens d'action, il procède au travail avec ordre et sans précipitation.

Les manœuvres à faire pour relever une machine dépendent beaucoup des circonstances de l'accident; cependant il y a quelques règles générales qu'on ne doit jamais perdre de vue. On doit commencer par séparer le tender de la machine, à moins que le premier ne soit resté sur la voie et que la machine n'ait une ou

deux paires de roues dans le sable et à une petite distance des rails, lorsqu'il est impossible d'enlever le bouillon d'attelage ou de faire reculer le tender, on coupe la barre d'attelage. On cale en dessous, avec des coins en bois qui n'ont rien de la hache ou que l'on prend dans les coussinets de la voie obstruée, les boîtes à graisse des trois essieux, pour que les roues suivent le mouvement de la machine lorsqu'on la soulève en agissant sur le châssis; on cale en outre en dessous les boîtes à graisse des essieux extrêmes, pour que la flexion des ressorts ne fasse pas baisser la machine à une extrémité lorsqu'on la soulève à l'autre, et pour ne pas écraser les ressorts.

Lorsqu'il n'y a qu'un essieu, celui d'avant ou quelquefois celui d'arrière sorti de la voie, on place un ou deux verrins sous la traverse d'avant ou d'arrière; on soulève la machine jusqu'à ce que les boudins soient un peu au-dessus des rails et on la fait ripier au moyen de la vis de rappel du verrin. Lorsqu'on n'a que des crics à sa disposition, on soulève la machine avec un ou deux crics en la inclinant légèrement du côté où la machine doit se déplacer transversalement, et on la pousse latéralement avec un autre cric. Avant d'entreprendre une manœuvre de cette nature, on doit caler avec soin les boîtes à graisse et les roues sur les rails pour qu'elles ne puissent pas se déplacer en avant ou en arrière; on assent les crics et les verrins sur des plats-bords, en creusant le sable pour qu'ils trouvent une base solide, ou en les appuyant sur les traverses de la voie, si cela est possible. Au fur et à mesure que les roues sortent de la voie s'élèvent sous l'action des verrins ou des crics, on passe dessous des semelles en bois pour ne pas perdre le terrain gagné, si les engins venaient à manquer ou lorsqu'ils sont à bout de course et qu'il faut les reprendre.

Si la machine s'est écartée à une assez grande distance de la voie, il faut placer le long des roues des rails à plat sur lesquels on place la machine, et que l'on raccorde ensuite avec l'une des deux principales, par un bout ou par l'autre; on doit éviter de faire faire un trajet considérable à la machine en la faisant ripier successivement; c'est toujours long et plus nuisible à la conservation de la machine.

Lorsque les trois paires de roues sont tombées hors des rails, pour replacer la machine sur la voie qui elle vient de quitter, on sur la voie provisoire qu'on établit pour la ramener sur sa direction, on doit en général s'appliquer à placer chaque paire de roues sur un rail transversal, placé à la plat sur les rails de la voie ou sur des tasseaux fortement assis; cette opération est toujours facile car il suffit de soulever la machine d'une quantité suffisante pour introduire le rail sous les boudins des roues; ces trois rails doivent être placés bien parallèlement entre eux, et autant que possible, perpendiculairement à la voie, soutenus, au besoin, par d'autres rails juxtaposés. Lorsque la machine repose ainsi sur ces rails, on graisse ceux-ci et on ripe la machine au moyen de verrins, de crics et de pinces, jusqu'à ce qu'elle soit à l'aplomb des rails sur lesquels on la laisse redescendre, en la soulevant d'abord un peu et successivement à chaque extrémité, pour dégager les supports mis en travers.

Lorsque la machine penche fortement d'un côté, on la redresse d'abord ayant de commencer les manœuvres qui viennent d'être indiquées. Mais, lorsque la machine se renverse sur le côté, il est inutile de chercher à la redresser au moyen des verrins et des crics; il faut de suite équiper deux fortes chèvres à trois pieds, munies de treuils, assez forts pour soulever la machine et la replacer sur ses roues, on procède ensuite comme il a été dit ci-dessus.

Lorsqu'une machine, en marche ou au repos, se trouve en un endroit où elle a été dérangée par une chute de terre ou par un autre accident, on nettoie ensuite toutes les parties qui ont été couvertes de sable, et on ne marche que très-lentement en observant avec soin le jeu de toutes les pièces, spécialement le mouvement des roues.

Il est nécessaire aussi, toutes les fois qu'il y a eu déraillement, que la voie soit bien examinée, car il arrive fréquemment qu'un rail, ou des coussinets, soient cassés ou déplacés; de plus, on relève les coins qui ont servi de cales et qui doivent être remplacés.

On doit toujours s'attacher, lorsque, par suite d'un dérangement, les deux voies ont été encombrées, à rétablir le plus promptement possible la circulation sur l'une des deux voies, et en écarter tout ce qui pourrait faire obstacle au passage des trains; on doit commencer par relever les wagons lorsqu'ils encombrant la voie qui doit être dégagée la première; le faible poids de ces véhicules rend la manœuvre facile, lors même qu'ils sont complètement dés-emparés et qu'il faut les charger sur des wagons plats, soit en bloc, soit en séparant la caisse du train.

S'il n'y a que des wagons sortis de la voie, ou s'il faut déplacer des wagons qui interceptent la circulation avant l'arrivée du secours, c'est le mécanicien qui doit diriger la manœuvre, après avoir pris toutes les dispositions pour assurer la conservation de la machine.

5. — Mesures législatives et réglementaires.

Mesures législatives et réglementaires. — L'exploitation des chemins de fer est régie par une loi spéciale et par un règlement d'administration publique également spécial, par un règlement d'administration publique concernant les machines à vapeur en général, et par divers arrêtés ou décisions. Nous mentionnerons seulement, en indiquant sommairement leur objet, les dates de ces documents, qui doivent être entre les mains de toutes les personnes qui ont à diriger des ateliers de construction et de réparation ou un service de traction.

1^o *Loi sur la police des chemins de fer.* — 15 juillet 1845. Elle a pour objet principal d'assurer l'exécution des mesures réglementaires concernant la conservation des chemins de fer et la sécurité de la circulation; elle fixe les pénalités et le mode de constatation et de répression des crimes, délits et contraventions.

2^o *Ordonnance portant règlement d'administration publique, sur la police, la sûreté et l'exploitation des chemins de fer.* — 15 novembre 1846. Elle règle les formalités à suivre pour la mise

en circulation des machines locomotives, les conditions de sécurité qui doivent être observées dans la construction et l'entretien du matériel de traction, les mesures d'ordre ayant pour objet la tenue des états de service des machines et tenders et de leurs essieux; elle règle en outre les mesures relatives à la composition, au départ, à la circulation et à l'arrivée des convois, et en particulier les mesures de précaution à observer par les mécaniciens. Ce règlement doit être refondu incessamment et réduit à des termes plus généraux; en laissant plus de latitude aux agents du service de l'exploitation, il augmentera leur responsabilité et l'obligation, qui résulte de la nature même de leur profession, d'exécuter strictement toutes les mesures de précaution et les règles de service établies par chaque Compagnie.

3^o *Ordonnance relative aux machines et chaudières à vapeur.* — 22 mai 1843. Elle comprend une section relative aux machines locomotives, fixe les formalités à accomplir pour l'épreuve, et l'autorisation de mise en service des machines; elle règle les épaisseurs à donner au métal des chaudières cylindriques, en raison du diamètre et de la pression, le diamètre à donner aux soupapes de sûreté, en raison de la surface de chauffe, etc.

Une décision postérieure de M. le Ministre des travaux publics (circulaire ministérielle du 30 novembre 1852), prise sur l'avis de la commission des machines à vapeur, a autorisé les ingénieurs chargés de la réception des chaudières à timbrer les chaudières de machines locomotives, en admettant une tolérance d'un tiers sur l'épaisseur réglementaire de la tôle; on peut ainsi timbrer à 7 atmosphères des chaudières dont les épaisseurs de tôle correspondent au timbre de 5 atmosphères. Cette tolérance ne peut être admise que pour les chaudières en bon état; dont les armatures, tirants et entretoises sont solidement disposés, et sous la condition que les balances seront combinées de telle sorte, que la levée de la soupape soit au moins de 0^m002 pour chaque atmosphère de tension au-dessus de 7 atmosphères, et que la soupape, avant que son levier vienne buter contre l'arrêt de la balance, s'ouvre au moins de 0^m004 en totalité.

Pour les chaudières de machines locomotives, l'épreuve à la presse hydraulique doit être faite à une pression double de la pression effective de la vapeur, c'est-à-dire à une pression double de la pression absolue ou de la tension de la vapeur diminuée d'une atmosphère.

La charge d'épreuve doit être placée sur l'une des soupapes de la chaudière et non sur la soupape de la presse hydraulique, et l'épreuve elle-même doit être conduite de telle sorte que l'eau jaillisse pendant quelques instants consécutifs, en formant une nappe continue tout au long de la soupape.

On doit nécessairement tenir compte, dans le calcul de la charge d'épreuve, du poids de la soupape et de celui du levier; voici, par exemple, un exemple qui indique comment doit se faire le calcul :

Epaisseur de la tôle de la chaudière.....			0,012
Diamètre (d) de la soupape de sûreté.....			0,010
Distance du point fixe du levier à son centre de gravité.....			0,032
Distance du point fixe du levier à son point d'appui sur la soupape.....			0,080
Charge directe à ajouter sur le levier.....			17300
Charge directe à ajouter sur la soupape.....			933780
Distance du point fixe du levier à l'extrémité où le poids est placé.....			0,080
Poids à ajouter à l'extrémité du levier.....			95378

l'emploi du mètre à l'air (gradé en atmosphères) dans les épreuves de chaudières, indiqué par les règlements ministériels du 26 août 1892, évite ce calcul et permet de faire ces épreuves tout à la fois plus facilement et plus sûrement. Ce calcul, dont il est important d'ailleurs de connaître les éléments, est évitable lorsqu'il s'agit d'épreuves de chaudières; il est inutile de mentionner les modifications de détail qui doivent être subir

pour les chaudières de machines locomotives, l'épreuve à la presse hydraulique doit être faite à une pression double de la pression effective de la vapeur, c'est-à-dire à une pression double de la pression absolue ou de la tension de la vapeur diminuée d'une atmosphère.

Art. 1. - Règlement pour les mécaniciens et chauffeurs.
Le règlement suivant a été arrêté d'un commun accord entre les Compagnies qui forment le syndicat du chemin de fer de ceinture et peut avoir à ce titre, un effet général.
Les mécaniciens et les chauffeurs sont responsables de la conduite des machines et des tenders, nommés par les Compagnies, dans les trains, sous la surveillance des conducteurs principaux chargés du nettoyage de la machine, de la manœuvre du frein et de la manœuvre du foyer. En route, ils obéissent aux ordres du mécanicien en chef.

Art. 1^{er}. Les mécaniciens sont chargés de la conduite des machines et des tenders, nommés par les Compagnies, dans les trains, sous la surveillance des conducteurs principaux chargés du nettoyage de la machine, de la manœuvre du frein et de la manœuvre du foyer. En route, ils obéissent aux ordres du mécanicien en chef.
Les mécaniciens et les chauffeurs sont responsables de tous les faits de leur service.

Les mécaniciens des trains, en l'absence des conducteurs, et les mécaniciens des machines isolées doivent, sous leur responsabilité, prendre toutes les mesures de sûreté prescrites aux conducteurs.

Art. 2. Pour toutes les manœuvres qui se font dans les gares, les mécaniciens sont sous les ordres des chefs de gare.
En marche, les mécaniciens et les chauffeurs sont sous les ordres des chefs de train, en ce qui concerne le service des trains, et les manœuvres à faire.
MESURES DE SURETÉ. - SIGNAUX.

Art. 3. L'absence de tout signal indique que la voie est libre. Sur tous les points et à toute heure, les dispositions devront être prises comme si un train était attendu.
Les signaux à la main s'exécutent par le jour, avec un drapeau vert ou rouge la nuit, avec un feu blanc, vert ou rouge.

Le signal fixe consiste en un appareil, portant, le jour, un disque tournant dont une face est peinte en rouge, et la nuit, une lanterne à plusieurs verres, dont un rouge.

Au besoin, on emploie des pétards, ou boîtes détonantes, placés sur les rails.

Le jour, en temps de brouillard, et en tout temps dans les tunnels, on fait usage des signaux de nuit.

Sur certains points déterminés, on emploie la trompe comme signal d'avertissement.

Le drapeau roulé indique que la voie est libre.

Le drapeau vert déployé commande le ralentissement.

Le drapeau rouge déployé commande l'arrêt immédiat.

A défaut de drapeau rouge, l'arrêt est commandé, soit en agitant vivement un objet quelconque, soit en élevant les bras de toute leur hauteur.

Le disque du signal fixe, effacé, indique que la voie est libre.

Le disque présentant la face rouge commande l'arrêt.

La lanterne à verre blanc immobile indique que la voie est libre.

La lanterne à verre vert commande le ralentissement.

La lanterne à verre rouge commande l'arrêt.

Ces règles s'appliquent également aux lanternes des signaux fixes.

A défaut de verre rouge, toute lumière vivement agitée commande l'arrêt.

La détonation d'un ou plusieurs pétards commande l'arrêt.

Un son de trompe allongé annonce l'approche d'un train ou d'une machine.

La nuit, tout train ou toute machine en marche doit porter, au moins, un feu blanc à l'avant et, au moins, un feu rouge à l'arrière.

Un drapeau vert le jour, un feu vert la nuit, placés sur un train indiquent que ce train est dédoublé, et qu'il est suivi, à 10 minutes d'intervalle, par un autre train.

Les signaux de nuit doivent être allumés aussitôt que le jour baisse.

Ils seront maintenus jusqu'au grand jour, et ils doivent encore être allumés pendant le jour quand le brouillard, la neige ou toute autre cause obscurcit l'atmosphère.

Un coup de sifflet prolongé appelle l'attention.

Deux coups de sifflet saccadés commandent de serrer les freins.

Un coup de sifflet bref commande de desserrer les freins.

Tout employé, quel que soit son grade, doit obéissance passive aux signaux.

Art. 4. En se mettant en marche, à l'approche des stations, des tranchées en courbe et des passages à niveau, qu'il ne pourra apercevoir de loin, à l'entrée et à la sortie des tunnels, le mécanicien devra faire jouer le sifflet à vapeur pour avertir de l'approche des trains.

Il se servira également du sifflet, comme moyen d'avertissement, toutes les fois que la voie ne lui paraîtra pas complètement libre.

Tout mécanicien doit obéissance passive aux signaux.

Art. 5. Dès que les mécaniciens aperçoivent un signal d'arrêt, ils doivent, par tous les moyens à leur disposition, se rendre immédiatement et complètement maîtres de la vitesse de leur train, de manière à s'arrêter, autant que possible, avant le signal. Ce devoir doit être immédiatement accompli, sans hésitation, sans retard.

Une fois maître de sa vitesse, si c'est un signal fixe manœuvré à distance que le mécanicien a devant lui, il avancera lentement et avec la plus grande prudence, de manière à se faire couvrir par le signal sans compromettre la sûreté. Dans aucun cas, il ne devra atteindre une aiguille, ni une traversée de voie protégées par le signal.

Art. 6. A toute explosion de pétards, le mécanicien, doit, par tous les moyens à sa disposition, se rendre immédiatement, et complètement maître de la vitesse de son train.

L'ordre de se rendre maître de la vitesse du train doit être

exécuté d'une manière absolue, il ne comporte aucune hésitation, aucune interprétation. Le mécanicien, aussi, qu'il entend une explosion de pétards, doit donc fermer le régulateur, donner l'ordre au chauffeur de serrer le frein du tender, et faire aux conducteurs du train, au moyen du sifflet, le signal réglementaire pour qu'ils s'arrêtent. En cas de besoin, même, il fera contre-vapeur.

Quand la vitesse du train aura été presque entièrement amortie, et ne dépassera pas deux mètres par seconde, la vitesse d'un homme qui marcherait rapidement à côté du train, le mécanicien pourra faire desserrer les freins, et avancera ensuite avec la plus grande prudence, en se réservant toujours la possibilité d'arrêter son train dans la limite de l'étendue de la voie qui lui paraît libre.

Après avoir parcouru un kilomètre dans ces conditions, le mécanicien n'aperçoit aucun obstacle devant lui, il pourra reprendre la vitesse normale, mais en observant, avec un redoublement d'attention, la voie en avant, et les signaux qu'on pourrait lui faire.

MESURES GÉNÉRALES.

Art. 7. Toute machine circulant seule ou attelée à un train, doit être accompagnée d'un mécanicien et d'un chauffeur. Le chauffeur devra être capable d'arrêter la machine en cas de besoin.

Art. 8. Les machines doivent être en tête des trains. Il ne pourra être dérogé à cette disposition que pour les manœuvres à exécuter dans le voisinage des gares et pour le cas de secours.

Dans ces cas spéciaux, la vitesse ne pourra excéder 25 kilomètres à l'heure.

Art. 9. Les trains de voyageurs devront être remorqués par une seule machine, sauf de cas où l'emploi d'une machine de renfort devient nécessaire, soit pour la montée d'une rampe de

forte inclinaison, soit par suite d'une lenteur extraordinaire de voyageurs, de l'état de l'atmosphère, ou un accident ou un retard exigeant l'emploi de secours, ou de tout autre cas analogue.

Il est, dans tous les cas, interdit d'atteler simultanément plus de deux machines attelées à un train de voyageurs.

Quand deux machines sont attelées à un même train, le mécanicien placé en tête qui donne les indications, qui siffle, et qui règle la marche.

Il ouvre son régulateur le premier, et le ferme le dernier. Art. 10. Les manœuvres de trains, et de machines, dans les gares, à l'entrée et à la sortie des dépôts et des ateliers, doivent s'exécuter toujours à petite vitesse et avec la plus grande prudence.

Aucun mouvement, aucun manœuvre, de locomotives, de machines, de matériel, dans l'intérieur d'une gare, sans l'autorisation ou l'ordre du chef de gare ou de son représentant.

Art. 11. Les chauffeurs de gare et les chauffeurs de certaine catégorie pourront être admis à suppléer les mécaniciens dans les manœuvres de gare.

Ces chauffeurs, ainsi que les mécaniciens eux-mêmes, ne pourront, dans aucun cas, manœuvrer une machine, et en effectuer la manœuvre sans avoir près d'eux un homme capable de freins.

Art. 12. Avant le départ du dépôt, le mécanicien doit faire, avec le plus grand soin, à disposition de la machine et du tender, afin de s'assurer que toutes les parties sont en bon état, et que les approvisionnements d'eau, de coke et d'huile sont complets. Il s'assure que le frein fonctionne convenablement.

Le graissage des pièces de la machine doit être fait par le mécanicien lui-même, ou sous sa responsabilité.

Art. 13. Le mécanicien doit insérer sa machine en tête du train, avec précaution, et veiller, par quelque moyen ou par un intermédiaire

du chauffeur, à ce que la machine et le tender soient bien attelés au train.

Il doit démarrer sans secousse.

Art. 14. Tout mécanicien conduisant un train ne doit partir qu'après avoir reçu du chef de train le signal de départ.

Cette prescription est applicable non seulement au départ des gares et stations, mais encore au départ d'un point quelconque.

CIRCULATION DES TRAINS ET DES MACHINES.

Art. 15. En règle générale, les trains et les machines doivent circuler sur la voie de gauche, en regardant le point vers lequel ils se dirigent.

Art. 16. Le mécanicien et le chauffeur doivent généralement se tenir debout pendant le trajet : le premier, sur la plate-forme de la machine, à portée de la manette du régulateur; le second, sur le tender, à côté de la manivelle du frein.

Dans le cas où la présence du mécanicien serait nécessaire sur une autre partie de la machine, le chauffeur doit le remplacer auprès du régulateur.

Art. 17. Le mécanicien et le chauffeur doivent veiller tous deux attentivement à l'état de la voie et aux signaux qui peuvent leur être faits, et être prêts à ralentir ou à arrêter, selon les circonstances.

Art. 18. Le mécanicien et le chauffeur doivent en démarrant, et fréquemment pendant la route, surveiller le train, l'état des boîtes à graisse doit de temps en temps appeler leur attention.

Art. 19. Le mécanicien surveillera constamment toutes les parties de la machine, et notamment le niveau d'eau de la chaudière, la tension de la vapeur, le feu du foyer et les pompes d'alimentation.

Il veillera à ce que rien n'embarrasse la manœuvre du frein.

Il ne doit, sous aucun prétexte peser sur le levier des balances, ni déranger les points d'arrêt des soupapes de sûreté.

Art. 20. La marche de la machine doit être régulière et sensiblement uniforme.

Il est interdit aux mécaniciens d'arriver aux stations ou d'en partir avant les heures fixées par le tableau du service. Ils useront de tous les moyens en leur pouvoir pour ne pas arriver, après ces mêmes heures, sans cependant dépasser de plus de moitié la vitesse réglementaire du train.

Aucun train ne doit quitter une gare avant qu'il se soit écoplé, depuis le départ du train précédent, un intervalle de 40 minutes. Toutefois, l'intervalle pourra être réduit à 5 minutes, savoir :

- 1° Lorsque le premier train marchera plus vite que le second;
- 2° Lorsqu'un train de voyageurs partira d'une gare où un train de voyageurs précédent ne se sera pas arrêté;
- 4° Lorsqu'un train de marchandises partira d'une gare où un train précédent ne se sera pas arrêté.

L'intervalle pourra encore être réduit à 2 minutes toutes les fois que la distance à parcourir sur la même voie, par les trains qui se suivront, n'excédera pas 3 kilomètres.

Art. 21. Le mécanicien conduisant un train spécial ou une machine isolée doit, toutes les fois qu'il franchit une gare et qu'il ne peut s'assurer de loin que la voie est libre, redoubler de prudence et diminuer sa vitesse.

Art. 22. A 500 mètres au moins avant d'arriver au point où une ligne d'embranchement vient croiser la ligne principale, le mécanicien devra modérer la vitesse, de telle manière que le train puisse être complètement arrêté avant d'atteindre ce croisement, si les circonstances l'exigent.

Art. 23. La vitesse des trains et des machines doit être ralentie au passage des aiguilles abordées par les pointes. Elle ne devra pas dépasser 20 kilomètres à l'heure.

Art. 24. Lorsque les besoins du service rendent nécessaire le

dédoublément d'un train, le premier train doit porter un drapeau vert le jour, et un feu vert la nuit.

Le second train pourra suivre le premier à 10 minutes d'intervalle, en s'arrêtant aux mêmes gares.

Les trains garés pour laisser passer le premier train, ne doivent quitter leur garage qu'après le passage du second train.

ARRÊT DES TRAINS ET DES MACHINES.

ART. 25. Sauf le cas de force majeure, ou de réparations à la voie, les trains ne pourront s'arrêter qu'aux gares ou lieux de stationnement autorisés par le service des voyageurs et des marchandises.

ART. 26. Lorsque, par suite d'un accident quelconque, un train vient à s'arrêter sur la voie, le premier devoir du chef de train est d'envoyer au pas de course un homme à l'arrière, pour faire à sept cents mètres, au moins, les signaux d'arrêt qui doivent protéger le train.

Au besoin, le chef de train doit se porter lui-même à l'arrière. Ce devoir doit être immédiatement accompli, sans hésitation, sans retard, quelque assurance qu'on puisse avoir qu'aucun train, qu'aucune machine ne doit survenir.

Si l'agent envoyé à l'arrière d'un train rencontre un agent ou un ouvrier de la voie, il doit le charger d'assurer les signaux au point convenable, et revenir à son train.

S'il n'a rencontré personne, et s'il est rappelé lui-même à son train, il doit mettre, avant de revenir, des pétards sur les rails, afin de prévenir le mécanicien de tout train ou de toute machine qui surviendrait.

On devra, pour plus de sûreté, poser à la fois sur les rails, deux pétards, un à gauche, l'autre à droite, à une distance de 25 à 30 mètres l'un de l'autre.

Par un temps humide, le nombre des pétards employés devra être porté à trois, espacés de la même manière.

Le chef de train qui envoie un homme à l'arrière, de son train, pour le protéger, doit veiller :

A ce qu'il se rende à la distance réglementaire, et soit porteur le jour, d'un drapeau rouge; la nuit, d'une lanterne à verre rouge, avec les moyens de la rallumer, si elle venait à s'éteindre; et le jour comme la nuit, de signaux-pétards, dont il devra faire usage concurremment avec les autres signaux en temps de brouillard.

Il est formellement interdit à l'employé qui aura été chargé d'assurer les signaux, à l'arrière d'un train, de revenir à son train, même lorsqu'il y serait appelé, s'il n'a pu :

Soit charger un agent de faire les signaux d'arrêt; soit, à défaut d'agent, placer des pétards à la distance réglementaire.

ART. 27. Lorsque, par une cause quelconque, la vitesse d'un train se trouvera momentanément ralentie au point de permettre à un homme marchant au pas de le suivre, le conducteur d'arrêter descendra et mettra des pétards sur la voie derrière le train, à la distance en distance, et au moins de kilomètre en kilomètre tant que la vitesse du train lui permettra de le faire.

ART. 28. En cas d'accident interceptant à la fois deux voies, le chef de train doit faire faire le signal d'arrêt à la distance réglementaire, en avant comme en arrière. Il doit en outre placer le plus promptement possible, les chefs des gares les plus rapprochés, entre lesquelles le train se trouverait arrêté, et prendre toutes les mesures nécessaires pour retablir le service.

Lorsque, par une cause quelconque, la voie biposée à celle que suit un train sera obstruée, ce train devra s'arrêter à la première gare pour y donner l'avis utile.

Les mécaniciens montreront le signal rouge à tous les trains ou machines qu'ils croiseront avant d'arriver à cette gare.

ART. 29. Lorsqu'un mécanicien est obligé de s'arrêter sur la voie, il doit informer le chef du train des causes de l'arrêt, et lui indiquer s'il faut demander le secours du pilote.

S'il convient de faire venir une machine de secours à contre-voie, le chef de train en fera, par écrit, la demande au chef de la première gare en avant.

Dans ce cas, il est formellement interdit au chef de train de se remettre en marche ou de laisser pousser son train par un autre train ou par une machine qui surviendrait.

Le train doit rester à l'arrêt jusqu'à l'arrivée de la machine demandée à contre-voie.

ART. 30. Toutes les fois qu'une machine sera forcée d'abandonner une partie de train ou un train sur la voie, soit pour aller conduire au premier garage une partie du train, soit pour aller prendre de l'eau, soit pour toute autre cause, le mécanicien devra se concerter avec le chef de train, et le retour de la machine devra être attendu à contre-voie, à moins de conventions contraires stipulées par écrit.

ART. 31. Dans le cas d'un accident ou d'un dérangement à la voie, de nature à entraver la marche des trains, le mécanicien doit en prévenir la première gare ou les premiers agents de la voie qu'il rencontrera.

ART. 32. A l'approche des stations d'arrivée, le mécanicien devra prendre les dispositions convenables pour que la vitesse acquise du train soit complètement amortie avant le point où les voyageurs doivent descendre, et de telle sorte qu'il soit nécessaire de remettre la machine en action pour atteindre ce point.

GARAGE DES TRAINS ET MACHINES.

ART. 33. Un train de marchandises ne doit pas franchir une gare, toutes les fois qu'il n'a pas, sur le train de voyageurs qui le suit, une avance suffisante pour atteindre le premier garage, 10 minutes au moins avant l'heure réglementaire de l'arrivée à ce garage du train de voyageurs.

Les mécaniciens doivent être porteurs du tableau de la marche

des trains, et se rendre compte de la position du train ou de la machine qu'ils conduisent.

MACHINES EN STATIONNEMENT.

ART. 34. Lorsqu'une machine est en stationnement prolongé, le levier de changement de marche doit être au point mort, le frein du tender serré, et les roues motrices calées.

Le mécanicien et le chauffeur ne doivent pas s'absenter en même temps; l'un d'eux restera toujours préposé à la garde de la machine.

Lorsqu'une machine stationne sur une voie de garage, on doit enlever ou effacer le signal rouge d'arrière, afin que les mécaniciens des trains survenants ne soient pas induits en erreur par la vue de ce signal.

ART. 35. L'alimentation de la chaudière doit se faire, autant que possible, sur des voies autres que les voies principales.

Lorsqu'un mécanicien est obligé de pénétrer sur les voies principales, soit pour alimenter, soit pour toute autre cause, il ne pourra le faire qu'après avoir reçu l'autorisation du chef de gare ou de son représentant chargé d'installer les signaux nécessaires.

SECOURS.

ART. 36. Les mécaniciens des machines-pilotes doivent toujours tenir ces machines en bon état et prêtes à partir.

Les machines-pilotes partent au secours, sur l'ordre donné par le chef de gare.

Toutefois, lorsqu'un train sera en retard de 15 minutes, le mécanicien du pilote se présentera au chef de gare ou enverra prendre ses ordres.

ART. 37. Si la machine-pilote croise le train en retard, elle continuera jusqu'au plus prochain croisement, pour revenir sur la même voie que le train,

Si le train a besoin d'aide, la machine-pilote l'accostera avec

précaution, et le pousser jusqu'au point où un croisement lui permettra de se mettre en tête.

Art. 38. Aucune machine ne doit s'approcher à plus de mille mètres de distance d'un train ou d'une machine en marche sur la même voie, sauf le cas où elle aurait été expressément demandée ou envoyée. Dans ce cas même, le mécanicien survenant sifflera longuement, et ne s'approchera du train qu'avec précaution.

Art. 39. Le mécanicien-pilote ne doit aller au secours d'un train à contre-voie, que sur un ordre écrit.

RUPTURES D'ATTIAGE.

Art. 40. Dans le cas où un attelage viendrait à se rompre, et où un train se trouverait ainsi divisé, les conducteurs qui se trouveront avec la seconde partie du train devront serrer le plus grand nombre possible de freins. Le mécanicien devra agir avec la plus grande prudence.

Il cherchera à éviter que la partie du train laissée en arrière ne rejoigne brusquement la première partie.

Dans aucun cas, il ne devra reculer vers la seconde partie, que lorsque cette seconde partie sera en vue et arrêtée.

ACCIDENTS.

Art. 41. En cas de déraillement, le chef de train doit laisser au mécanicien la direction des opérations nécessaires pour remettre sur les rails les parties du train déraillées.

Art. 42. Le mécanicien, et le chauffeur ne doivent, dans aucune circonstance, même en cas de danger personnel, abandonner leur poste sur la machine confiée à leurs soins.

Art. 43. Si, pendant la marche, il survient un accident au mécanicien, le chauffeur doit fermer le régulateur, et faire serrer les freins; puis, le train arrêté, il se concertera avec le chef de train.

CIRCULATION TEMPORAIRE SUR UNE SEULE VOIE.

Art. 44. Lorsqu'une des voies sera momentanément interceptée, par suite d'accident, de réparation, ou pour toute autre cause, la circulation des trains pourra avoir lieu sur la seule voie libre, dans les conditions suivantes :

Un employé-pilote sera désigné pour accompagner les trains et les machines sur la voie unique.

Des gardes seront placés aux deux extrémités de cette voie.

Ces gardes recevront l'ordre écrit de ne laisser engager sur la voie unique, aucun train, aucune machine, sans la présence à l'aiguille de l'employé-pilote et sans son ordre.

Tous les trains, et toutes les machines, quelle que soit leur direction, devront être arrêtés à leur entrée sur la voie unique.

Le premier train qui passera sur la voie unique, en sens contraire de la circulation normale sur cette voie, ne pourra, dans aucun cas, s'y engager avant que l'employé-pilote ait reçu l'assurance que la voie est libre, qu'un garde est placé à l'autre extrémité, et que ce garde a reçu l'ordre écrit de ne laisser engager aucun train, aucune machine, sans la présence à l'aiguille de l'employé-pilote, et sans son ordre.

Toutes les fois que les cantonniers n'auront pas été prévenus en temps utile de la circulation à contre-voie, le mécanicien du premier train qui passera sur la voie unique, en sens contraire de la circulation normale sur cette voie, devra marcher avec la plus grande prudence et être en mesure de s'arrêter immédiatement si cela était nécessaire.

Il préviendra les gardes et les cantonniers qui, à partir de ce moment, devront protéger en avant et en arrière, à la distance réglementaire, les travaux de nature à intercepter la circulation ou les lorries, qu'il serait indispensable de faire circuler.

Lorsque plusieurs trains devront être successivement expédiés dans le même sens, avant le passage d'un train venant en sens contraire, le dernier de ces trains sera seul accompagné par l'employé-pilote.

Le garde de la tête de la voie unique sera, dans ce cas, autorisé par l'employé-pilote, présent lui-même à l'aiguille, à laisser pénétrer les trains non accompagnés.

La correspondance pourra être échangée par le télégraphe électrique, à la condition que les dépêches seront passées en toutes lettres, sans abréviations, et que l'accusé de réception sera toujours donné par la répétition mot pour mot de la dépêche même.

MESURES D'ORDRE.

ART. 45. Les mécaniciens dans l'exercice de leurs fonctions doivent être munis :

- 1^o Du règlement pour les mécaniciens et les chauffeurs ;
- 2^o D'un exemplaire des tableaux de la marche des trains ;
- 3^o D'un drapeau rouge ;
- 4^o D'une lanterne à verre rouge ;
- 5^o De signaux-pétards.

Les mécaniciens devront s'assurer que leur machine est munie des outils et signaux nécessaires. Une liste des outils sera affichée dans l'intérieur de la boîte du tender ; ils en seront responsables, et devront, en arrivant au dépôt, faire remplacer ceux qui auraient été perdus ou cassés en route.

Les mécaniciens devront s'assurer que les lanternes-signaux des machines sont en bon état.

ART. 46. Les machines doivent être à la disposition des gares, 10 minutes avant l'heure fixée pour le départ des trains.

ART. 47. Lorsqu'un mécanicien arrive à la gare extrême, il doit faire en sorte que la vapeur ait une tension suffisante, pour être en mesure d'exécuter les manœuvres nécessaires.

ART. 48. A l'arrivée, le mécanicien doit faire connaître immédiatement au chef de dépôt tout ce qu'il a pu remarquer à la machine, au train, à la voie, aux fils télégraphiques, et tout ce qui peut intéresser le service.

Dans les gares où il n'y a pas de chef de dépôt, ces indications utiles seront fournies au chef de gare.

ART. 49. Aucune personne autre que le mécanicien et le chauffeur ne pourra monter sur la locomotive ou sur le tender, à moins d'une permission spéciale et écrite du directeur de l'exploitation du chemin de fer.

Sont exceptés de cette interdiction les ingénieurs des ponts et chaussées, les ingénieurs des mines, chargés de la surveillance, et les commissaires spéciaux de police. Toutefois, ces derniers devront remettre au chef de gare ou au chef de train une réquisition écrite et motivée.

ART. 50. Le service des mécaniciens et des chauffeurs doit s'accomplir avec calme et sans bruit. Ils doivent échanger à voix basse les communications nécessaires au service, et, s'abstenir de cris et de conversations inutiles.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.

1	But de l'ouvrage.....	1
2	Histoire de la machine locomotive.....	4
3	Statistique des machines locomotives des chemins de fer français.....	17

LIVRE I^{er}.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

§ 1^{er}. — Propriétés générales des fluides.

1	Définitions.....	21
2	Compression et dilatation des gaz.....	22
3	Mesure des pressions.....	23

§ 2. — De la chaleur.

1	Production de la chaleur.....	27
2	Combustibles.....	28
3	Pouvoir rayonnant et conductibilité.....	29
4	Dilatation. — Thermomètre.....	30
5	Chaleur spécifique.....	32

§ 3. — De la vapeur d'eau.

1	Production de la vapeur d'eau.....	34
2	Chaleur latente.....	35
3	Force élastique de la vapeur d'eau. — Densité.....	37

§ 4. — Frottement.

1	Frottement des corps solides.....	41
2	Adhérence.....	44
3	Écoulement de l'eau et de la vapeur.....	45

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.

But de l'ouvrage.....	1	Pages.
Histoire de la machine locomotive.....	4	
Statistique des machines locomotives des chemins de fer français.....	17	

LIVRE I^{er}.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

§ 1^{er}. — Propriétés générales des fluides.

1 ^o Définitions.....	21
2 ^o Compression et dilatation des gaz.....	22
3 ^o Mesure des pressions.....	23

§ 2. — De la chaleur.

1 ^o Production de la chaleur.....	27
2 ^o Combustibles.....	28
3 ^o Pouvoir rayonnant et conductibilité.....	29
4 ^o Dilatation. — Thermomètre.....	30
5 ^o Chaleur spécifique.....	32

§ 3. — De la vapeur d'eau.

1 ^o Production de la vapeur d'eau.....	34
2 ^o Chaleur latente.....	35
3 ^o Force élastique de la vapeur d'eau. — Densité.....	37

§ 4. — Frottement.

1 ^o Frottement des corps solides.....	41
2 ^o Adhérence.....	44
3 ^o Écoulement de l'eau et de la vapeur.....	45

§ 5. — Du travail des machines.

1° Définition.....	48
2° Mesure du travail des machines locomotives.....	51

§ 6. — Application de la vapeur à la locomotion.

1° Théorie de la machine locomotive.....	52
2° Avance et recouvrement.....	61
3° Détente fixe et variable.....	64
4° Vaporisation et tirage.....	71
5° Calcul de l'effet des machines locomotives.....	74

LIVRE II.

DESCRIPTION DE LA MACHINE LOCOMOTIVE.

CHAPITRE 1^{er}.

APERÇU GÉNÉRAL SUR LES DIVERS SYSTÈMES DE MACHINES LOCOMOTIVES.

§ 1^{er}. — Description sommaire de la machine locomotive.

1° Appareil de vaporisation.....	78
2° Appareil moteur ou mécanisme.....	82
3° Châssis et supports.....	86

§ 2. — Classification des machines.

1° Classification basée sur la nature du service.....	88
2° — — sur la disposition des cylindres.....	90
3° — — sur le nombre de roues.....	91

CHAPITRE II.

APPAREIL DE VAPORISATION..... 90

§ 1^{er}. — Foyer.

1° Boîte à feu.....	95
2° Grille.....	99
3° Tubes.....	103

§ 2. — Chaudière.

1° Boîte à feu extérieure.....	107
2° Corps cylindrique.....	109
3° Porte et trou d'homme.....	111
4° Boîte à fumée.....	112
5° Cheminée.....	114

§ 3. — Accessoires de la chaudière.

1° Cendrier.....	116
2° Appareil pour arrêter les flammèches.....	118
3° Registres.....	119
4° Soupapes de sûreté.....	119
5° Manomètres.....	122
6° Indicateur du niveau d'eau.....	123
7° Sifflet.....	125
8° Robinets et bouchons de vidange.....	126

§ 4. — Appareil de prise de vapeur et d'échappement.

1° Dôme de prise de vapeur.....	127
2° Tuyau de prise de vapeur et régulateur.....	130
3° Tuyau d'échappement.....	137

§ 5. — Alimentation.

1° Pompes alimentaires.....	140
2° Tuyaux d'aspiration et de refoulement.....	144
3° Eau d'alimentation.....	147
4° Alimentation dans les gares.....	152

CHAPITRE III.

MÉCANISME OU APPAREIL MOTEUR..... 153

§ 1^{er}. — Cylindres et pistons.

1° Cylindres.....	153
2° Pistons.....	162
3° Glissières ou guides du piston.....	169

§ 2. — Transmission de mouvement.

1° Essieu moteur.....	172
2° Bielles motrices.....	173
3° — d'accouplement.....	177

§ 3. — Mécanisme de la distribution.

1° Excentrique.....	179
2° Barres d'excentrique.....	182
3° Appareil de changement de marche.....	184
4° Tiroirs.....	188

5^o Application de la coulisse à la détente variable. — Divers types de coulisses..... 192

6^o Théorie de la coulisse considérée comme mécanisme de détente.... 200

7^o Divers exemples de distribution par coulisse..... 203

CHAPITRE IV.

CHASSIS ET SUPPORTS.

§ 1^{er}. — Châssis.

1^o Châssis..... 212

2^o Supports de la chaudière et des pièces du mécanisme..... 217

3^o Accessoires du châssis..... 220

4^o Plaques de garde..... 223

5^o Boîtes à graisse..... 224

6^o Ressorts..... 230

§ 2^e. — Roues et essieux.

1^o Essieux..... 237

2^o Roues..... 239

3^o Bandages..... 241

LIVRE III.

DESCRIPTION DU TENDER ET TYPES SPÉCIAUX DE MACHINES.

CHAPITRE 1^{er}.

TENDER.

Description générale..... 245

§ 1^{er}. — Caisse à eau.

1^o Caisse, réservoir d'eau..... 246

2^o Accessoires de la caisse à eau..... 248

§ 2^e. — Châssis.

1^o Châssis proprement dit..... 250

2^o Attelage..... 252

Plaques de garde, boîtes à graisse, ressorts..... 258

§ 3^e. — Roues et essieux..... 260

§ 5. — Frein..... 261

CHAPITRE II.

TYPES SPÉCIAUX DE MACHINES.

1^o Observations générales sur divers types. — Système américain. — Verrou à billes..... 267

2^o Machines-tender..... 271

3^o Machines accouplées du chemin de fer de Gênes à Turin..... 274

4^o Machines à 8 roues du chemin de fer du Nord pour fortes rampes.. 276

5^o Machine Engerth..... 277

LIVRE IV.

EXAMEN DE LA MACHINE LÔCOMOTIVE PRISE DANS SON ENSEMBLE.

CHAPITRE 1^{er}.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE CONSTRUCTION.

§ 1^{er}. — Poids des machines et des tenders..... 283

§ 2^e. — Entretien et durée des machines..... 286

1^o Choix des matériaux de construction..... 287

2^o Soins apportés à la construction..... 290

3^o Rigidité du châssis..... 293

4^o Surfaces de frottement..... 296

5^o Simplicité du mécanisme..... 299

6^o Jeu des pièces du mécanisme..... 300

7^o Stabilité..... 301

§ 3. — Economie du combustible.

1^o Choix du combustible..... 302

2^o Coke et Houille..... 304

3^o Mode de combustion..... 340

	Pages.
3° Transmission de la chaleur à travers les parois.....	315
4° Surface de chauffe du foyer et des tubes.....	317
5° Travail de la vapeur dans les cylindres.....	319
6° Entraînement de l'eau et condensation.....	321

§ 4. — *Vitesse et puissance de traction*..... 325

§ 5. — *Répartition des points d'appui*.

1° Coup d'œil rétrospectif.....	332
2° Influence des courbes.....	334
3° Ecartement des essieux.....	337

CHAPITRE II.

STABILITÉ.

§ 1^{er}. — *Mode de construction et entretien de la voie*.

1° Forme des rails.....	342
2° Jeu de la voie.....	345
3° Etat d'entretien de la voie.....	347

§ 2. — *Mode de construction et entretien des machines*.

1° Défaut de parallélisme des essieux.....	349
2° Inégalité de diamètre des roues.....	350
3° Usure des bandages.....	350
4° Jeu des boîtes à graisse.....	351
5° Hauteur du centre de gravité.....	353

§ 3. — *Actions perturbatrices développées par le mouvement des pièces du mécanisme*.

1° Actions perturbatrices résultant de l'inertie des pièces du mécanisme.....	360
2° Causes d'instabilité inhérentes à l'action de la vapeur sur les pistons.....	370
3° Intensité des actions perturbatrices.....	373
4° Moyens employés pour détruire l'instabilité propre des machines.....	376

§ 4. — *Résumé*..... 381

CHAPITRE III.

DIMENSIONS PRINCIPALES DES MACHINES.

Nomenclature de 20 types de machines locomotives comparées.....	384
Tableau des dimensions principales des 20 machines locomotives.....	395
Tableau des dimensions principales de divers tenders.....	408

LIVRE V.

CONDUITE DES MACHINES LOCOMOTIVES.

CHAPITRE I^{er}.

INSTALLATION GÉNÉRALE DU SERVICE.

§ 1^{er}. — *Personnel du service de la traction*..... 410

§ 2. — *Dépôts des machines*..... 418

1° Dépôts principaux.....	418
2° Voies de service.....	423
3° Magasin de combustible.....	424
4° Prises d'eau.....	425
5° Dispositions accessoires.....	427
6° Dépôts intermédiaires.....	428
7° Chauffage de l'eau d'alimentation.....	430

§ 3. *Outillage des machines*.

1° Outils pour la conduite du foyer.....	432
2° Burettes et bidons.....	433
3° Agrès.....	433
4° Caisse à outils.....	433

CHAPITRE II.

MACHINES EN SERVICE..... 435

§ 1^{er}. — *Service des dépôts*.

1° Allumage.....	435
2° Alimentation dans les gares.....	437
3° Chargement du tender.....	437
4° Extinction et lavage.....	438
5° Service de nuit.....	438
6° Visite au dépôt et nettoyage.....	439
7° Réparations d'entretien courant.....	441

§ 2. — *Service des trains*.

1° Mise en tête du train.....	448
2° Conduite de la machine.....	450
3° Arrivée et retour au dépôt.....	460
4° Conduite à deux machines.....	461

§ 3. — *Observations diverses.*

1 ^o Service de secours	462
2 ^o Essai des machines neuves ou réparées	464
3 ^o Rapports des mécaniciens avec les divers services de l'exploitation	464

LIVRE VI.

ATELIERS DE RÉPARATION.

§ 1^{er}. — *Conditions générales d'établissement.* 468

Superficie des ateliers et magasins de chemin de fer du Nord	471
Composition des magasins des chemins de fer du Nord et de l'Est	474
Composition des usines à coke du chemin de fer de l'Est	474

§ 2. — *Nature des réparations.* 475

1 ^o Appareil de vaporisation	477
2 ^o Appareil moteur	485
3 ^o Châssis et supports	492
4 ^o Tender	496

§ 3. — *Outillage et personnel.*

1 ^o Outillage en général	496
— du chemin de fer de l'Est	498
— du chemin de fer du Nord	501
2 ^o Personnel	504

§ 4. — *Travail des roues.* 506

Emballage et déemballage	508
Callage	509
Parcours des bandages	511

§ 5. — *Prix de revient.* 511

Prix de revient des roues et bandages	511
Prix de marchandage alloués pour divers travaux de réparation aux locomotives, tenders, etc.	513

§ 6. — *Comptabilité.* 524

Bons de commandes	527
Bons de travail	530
Contrôle	531

LIVRE VII.

FAITS D'EXPLOITATION.

CHAPITRE I^{er}.

RÉSULTATS STATISTIQUES.

§ 1^{er}. — *Parcours des machines.*

§ 2^o. — *Consommations et frais de traction.*

1 ^o Consommation de matières	538
2 ^o Frais de traction	544
3 ^o Traités de traction	546

CHAPITRE II.

ACCIDENTS.

§ 1^{er}. — *Avaries à la machine.*

1 ^o Appareil de vaporisation	547
Pompe alimentaire	552
2 ^o Mécanisme	556
3 ^o Châssis et supports	561
4 ^o Tender	563
5 ^o Dérailements	567

§ 2. — *Mesures législatives et réglementaires.*

Lois et ordonnances sur les chemins de fer	571
Ordonnance du 22 mai 1843	573
Calcul des soupapes	573
Règlement pour les mécaniciens et chauffeurs	574

TABLE ALPHABÉTIQUE.

A

	Pages.		Pages.
Accessoires de chaudières.....	80,	Appareil à retenir les flammèches.....	79, 118
— du châssis.....	116, 435, 551	— de vaporisation. V. chaudière et échappement.	
— du tender.....	220	— pour l'étude de la distribution.....	198
Accidents.....	547, 585	Armatures.....	78, 96
Accouplement de roues, V. Bielles.		Arrêt de la machine. 559, 565,	
Adhérence.....	44, 527	— d'éroux... 164, 167, 175	
Actions perturbatrices.....	539, 492	Ateliers de construction ou de réparation. 17, 466,	
Agrès. V. Outillage.		496, 504, 527	
Alimentation. 140, 132, 429, 450,		Attelage. 86, 216, 222, 245, 252,	
437, 448, 456, 460, 584		448, 566, 569, 585	
Allocation de combustible et matières à graisser..	539, 543	Avance du tiroir.....	61, 154
Allumage des machines. 414, 555,		Avaries. V. Accidents.	
448, 532			
Anthracite.....	28, 303		
Appareil moteur. 55, 153, 485, 556			
— de changement de marche. 84, 184, 491, 560			

B

Balances des soupapes de sûreté. 80, 120, 473, 485, 552		Bielles d'accouplement. 87, 117, 488, 517, 556, 559	
Bagues. V. Viroles.		— motrices. 85, 175, 444, 488, 517, 556, 558	
Ballast.....	487	— de suspension. V. Appareil de distribution.	
Bandages de roues. V. Roues.		Boite à étoupe. V. Presse étoupes.	
Baromètre.....	24	— à feu. 78, 95, 107, 515, 530	
Barre d'attelage. V. Attelage.		— à fumée. 79, 112, 439, 482	
— d'excentrique. V. Excentrique.		— à graisse. 224, 331, 442, 475, 494, 516, 550, 559, 561	
— de traction. V. Attelage.		— à tiroirs.....	82
— de relevage. V. Appareil de changement de marche.		Bons de commande.....	327
Barreaux de grille. V. Grille.		— de travail.....	530
Batis. V. Châssis. — Longérons. — Traverses.			

	Pages.		Pages.
Bouchon fusible.....	125, 549	Boulons.....	475, 487
Bouchons de vidange.....	126, 552	Bouton de manivelle. V. Manivelle.....	451
Boudins. V. Roues.....	99	Briquette.....	1
Bouilleur.....	99	But de l'ouvrage.....	1
Boulets de pompe. V. Clapets.....	99		

C

Cadre du tiroir. V. Tige de tiroir.....	353	Clavettes.....	174, 475, 487, 558
Cadre du foyer. V. Boîte à feu.....	353	Clefs de serrage.....	455
Caisse à eau du tender.....	246, 257	Colliers. V. Boîte à feu.....	353
— à outil.....	455, 587	Coke (Qualité et combustion du) V. Combustible.....	474, 550
— de secours.....	503	— Fabrication du coke.....	474, 550
Calage des roues.....	509, 560, 564	Combustibles 28, 55, 502, 451, 457, 448, 455, 474, 558, 544.....	310, 448
— des excentriques. V. excentrique et distribution.....	53	Combustion.....	524
Calorie.....	53	Comptabilité.....	22
Caoutchouc.....	254, 145	Compression des gaz.....	69, 195
Capuchon de cheminée.....	145	— de la vapeur.....	69, 195
Cendrier.....	80, 416, 549	Concours de Liverpool.....	15
Centre de gravité.....	535	Concours du Scemmering.....	15, 277
Chaines de sûreté.....	216, 257, 566	Condensation.....	521, 524
Chaleur.....	27, 29, 55, 513	Conduite des locomotives 75, 510, 452, 457, 448, 450, 558, 577.....	537
Chambre de vapeur.....	105, 107, 152, 325	Conicité. V. Roues.....	290, 549
Chapes. V. Bielles.....	31, 144, 145, 553	Construction des machines.....	290, 549
Chapelles.....	220, 494	Contraction.....	50
Chasse-pierre.....	86, 212, 235, 492, 561	Contre-poids.....	185, 255
Châssis de machine.....	250, 295, 492	Contre-pression.....	62, 72, 75
— de tender.....	250, 295, 492	Coquille. V. Crosse et tige de piston.....	78, 109, 514
Chaudière.....	55, 72, 95, 107, 477, 514, 548, 572	Corps cylindrique.....	78, 109, 514
Chauffage d'eau d'alimentation.....	450, 556, 147, 457	Coulisse de distribution.....	70, 85, 192, 489
Chauffeur. V. Mécanicien.....	411	Coulisseau. V. Coulisse.....	534
Chef de dépôt. V. Dépôt.....	411	Courbes (Influence des).....	495
— de traction.....	465	Coup de tampon.....	495
Cheminée.....	80, 114, 482, 531	Cousinets. V. Boîte à graisse. V. Bielles.....	411
Choc (Tampons et ressorts de).....	485, 489, 492	Couvercle de cylindre. V. Cylindre.....	411
Classification des machines V. Machines.....	78, 478	Crans. V. Détenie et Coulisse.....	455
Ciel de foyer.....	78, 478	Cric.....	86
Clapets de pompes. V. Chapelle.....	80	Crochet de traction.....	86
Clapet de la cheminée.....	80	Crosse de piston.....	85, 169, 487

D

Décalage. V. Calage.....	411, 414	Dépôts de machines.....	411, 414, 418, 427, 455, 458, 440, 460, 475, 476, 499, 535
Demarrage. V. Conduite.....	411, 414	Déraillement.....	485, 492, 565, 567, 585
Dépôts dans les chaudières. V. Incrustations.....	411, 414		

	Pages.		Pages.
Description de la locomotive dans son ensemble.....	73	Description du tender.....	94
— de la chaudière.....	78, 93	Dessèchement de la vapeur.....	123
— de l'appareil moteur.....	82, 153	Détente.....	64, 74, 154, 192
— de distribution.....	85, 179	Dilatation.....	50, 492, 530
— alimentaire.....	81, 140	Distribution.....	55, 57, 64, 179, 417, 489, 560
du châssis et des supports.....	86, 213	Dôme de vapeur.....	79, 127, 151
		Dynamie.....	50

E

Eau.....	43, 147, 521, 428, 427, 429, 450, 480	Enveloppe des chaudières.....	110, 551
Echappement.....	71, 459, 548	Espace nuisible.....	156, 159, 486
Echauffement des pièces frottantes.....	538, 562	Essai des machines.....	464
— des pompes alimentaires et Alimentation.....	508	— des chaudières.....	572
Engerth. V. Machine.....	127, 155, 521, 483	Essieux.....	85, 86, 172, 257, 260, 293, 257, 548, 491, 495, 511, 559, 564, 565, 572
Entraînement d'eau.....	286, 414, 441, 467, 475, 506, 512, 574	Excentriques.....	154, 179, 446, 489, 556, 560
Entretien du matériel.....	78, 98, 477, 548	Explosion.....	348
— de la voie.....	161, 550	Extinction du feu. V. Dépôt de Machines et Accidents.....	348
Entroites.....	161, 550		
Enveloppe des cylindres.....	554		

F

Faits d'exploitation.....	189	Frais de traction.....	538, 544
Fausse tige.....	239	Frein.....	261, 459
Faux cercle.....	550	Id.....	V. Arrêt
Feu V. Boîte à feu.....	21	Frottement.....	41, 76, 296, 527, 558
Feutre.....	425	Fumivores (Foyers).....	102
Fluides élastiques.....	425	Fuites.....	548, 550, 554, 557
Fosse à piquer le feu.....	548	Fusées. V. Essieux.....	548
Foyer.....	78, 95, 431, 475, 477, 514, 548		

G

Galop. V. Stabilité.....	86, 222	Gâpillés.....	176
Garde-corps.....	452, 457, 574, 578, 585, 587	Graissage.....	455, 45, 298, 449, 485, 488, 543, 562, 578
Gares, Garage.....	587, 585, 587	Gravité (Centre de).....	535
Garniture. V. Piston et Presso-étoupes.....	45	Grille.....	78, 99, 550
Gaz.....	85, 169, 171, 488, 489, 556	Grippement.....	475, 483, 486, 488, 558, 562
Glissières du piston.....	85, 169, 171, 488, 489, 556	Grue hydraulique.....	426, 429
Godets graisseurs.....	85, 171, 447	Guides. V. Piston, Tiroirs et Boîtes à graisse.....	426, 429

II

Pages.		Pages.
Histoire de la locomotive.....	11	Houille. V. Combustible.
Huile. V. Graissage.		

I

Incendie.....	549	Inertie.....	560
Inclinaison des cylindres.....	153	Instabilité. V. Stabilité.	
Incrustations.....	457, 427, 459	Installation du service des machines.....	411, 524, 534
Indicateur du niveau d'eau. V. Robinet indicateur, Tube de niveau.		Institutions de bienfaisance.....	505

J

Jet de vapeur.....	11, 54, 71	Jeu du mécanisme.....	500, 551
Jeu des boîtes à graisse.....	351	— de la voie.....	545
— des boudins de roues.	333	Joints.....	484

L

Lacet. V. Stabilité.		Loi de mariotte.....	22
Lame de ressort. V. Suspension.		— sur les chemins de fer	571
Lance.....	432	Longerons.....	86, 219
Lavage des machines..	427, 453, 459	Lumières de cylindre... 82, 159, 200 et suiv.	225
Levier de distribution. V. Appareil de changement de marche.		Lumières de coussinet.....	225

M

Machines locomotives (Classification des).....	88	Machines (Parcours des).....	534
— à voyageurs.....	88, 584	Machine-pilote....	428, 465, 582, 584
— et suiv.		Magasins. 414, 424, 428, 474, 500, 524, 527	
— à marchandises... 89, 590		Manivelle d'essieu....	85, 489, 559
— mixtes.....	90, 589	Manomètre....	24, 80, 122, 485, 532
— tender.....	90, 244, 271	Marchepieds.....	221
— types spéciaux, 267, 274, 595		Matériaux (Choix des).....	287
— américain.....	269	Mécaniciens et Chauffeurs..	412, 415, 417, 435, 449, 464, 567, 574, 577
— Engerth. 205, 245, 277, 592		Mécanisme moteur. 82, 55, 155, 299, 325, 556	
— de gare.....	275, 592	— de distribution. V. Distribution.	
— (Conditions générales de construction des)....	285		
— (Dimensions des). 584, 594			
— (Travail des).....	48		
— (Nombre de).....	18, 534		

Mûches. V. Godets graisseurs.		Pages.		Pages.
Métal fusible.....	259	Mouvement de galop, lacot, roulis, etc. V. Stabilité.		
Mantounet. V. Roues.		Moyeux. V. Roues.		

N

Niveau d'eau. 80, 122, 548, 552, 554		Nuit (Service de).....	435, 458
Notions préliminaires.....	21	Nettoyage.....	414, 459, 447

O

Ordonnances.....	571	Outillage des machines....	451, 527
Organisation du service. V. Service.		— des ateliers. V. Ateliers de réparations.	

P

Paniers à combustible.....	424	Plongeur. V. Pompe.	
— à filtre.....	248	Poids des machines et tenders.....	285, 551
Parallélisme des essieux.....	549	Point-mort.....	53, 182
Parcours. V. Statistique.		Point d'appui.....	551
Pattes d'araignées....	226, 475, 562	Pompes alimentaires. 43, 140, 145, 446, 484, 552	
Patinage.....	87	Porte de foyer.....	97, 111
Patins.....	85, 169, 170	Portés de calage. V. Essieux.	
Peinture.....	518	Poutie d'excentrique. V. Excentrique.	
Personnel. V. Ateliers, Dépôt, Service.		Pouvoir calorifique et rayonnant. 29	
Perturbations. V. Actions perturbatrices, Stabilité.		Pressé-écloups, 81, 85, 141, 159, 446, 475, 484, 487	
Pied de biche.....	85, 154, 182	Pression de la vapeur. V. Vapeur, Cylindre, Piston.	
Pique-feu.....	432	Pression des roues. V. Adhärence.	
Pilote. V. Machines.		Primes aux mécaniciens. 416, 558, 542, 544	
Pince.....	453	Prime (Machine qui)..	127, 525, 449
Pistons. 82, 162, 414, 475, 485, 487, 516, 556, 560		Prise d'eau.....	425
Plaques de garde. V. Châssis, Longerons, Suspension.		— de vapeur... 127, 155, 485, 555	
Plaque tournante.....	428	Prix de revient... 511, 525, 531, 546	
— tubulaire... 78, 113, 477, 549		Puissance de traction.....	525
Plateaux. V. Cylindres, Pistons.		Purgeurs. V. Robinets purgeurs.	
Plate-forme.....	86, 221		
Plomb de sûreté. V. Bouchon fusible.			

R

Raccord de tender.....	144	Rapports respectifs des employés.....	464, 587
Rails.....	542	Réchauffeur.....	146, 515
Rais, Rayons. V. Roues,			

