

GUIDE
DU CHAUFFEUR

ET

DU PROPRIÉTAIRE DE MACHINES A VAPEUR.

L'auteur et l'éditeur de cet ouvrage se réservent le droit de le traduire ou de le faire traduire en toutes langues. Ils poursuivront, en vertu des lois, décrets et traités internationaux, toutes contrefaçons ou toutes traductions faites au mépris de leurs droits.

Ce volume a été déposé au Ministère de l'Intérieur (Direction de la Librairie), en avril 1859.

PARIS. TYPOGRAPHIE DE JEAN PLON, IMPRIMEUR DE L'EMPEREUR, RUE CAPOCIÈRE, 5.

GUIDE
DU
CHAUFFEUR

ET DU
PROPRIÉTAIRE DE MACHINES A VAPEUR.

DEUXIÈME PARTIE :

RÈGLES ET MODÈLES DE CONSTRUCTION DES PRINCIPAUX TYPES
DE MACHINES A VAPEUR,
CONSOMMATIONS, ENTRETIENS ET SERVICES COMPARÉS, ACCIDENTS DE CHAQUE PIÈCE.
CALCUL ET MESURE DE LEUR FORCE :
MACHINES DES LOCOMOTIVES, DES LOCOMOBILES, DES STEAMERS DE L'ÉTAT
ET DES TRANSATLANTIQUE

PAR MM. GROUVELLE ET JUNK

Ingénieurs civils.

Quatrième édition, entièrement refondue

PAR M. PH. GROUVELLE.

PUBLICATION
DE
M. CH. LABOULAYE.

PARIS,

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE INDUSTRIELLE DE LACROIX ET BAUDRY

(ANCIENNE MAISON MATHIAS),

15, QUAI MALAQUAIS, 15.

1859

Propriété et traduction réservées.

GUIDE DU CHAUFFEUR

ET

DU PROPRIÉTAIRE DE MACHINES A VAPEUR.

DEUXIÈME PARTIE.

DES PRINCIPAUX GENRES
DE MACHINES A VAPEUR ADOPTÉS DANS L'INDUSTRIE,
DE LEUR CHOIX ET DE LEUR ACHAT.

Utilité comparative des divers systèmes de machines à vapeur.

578. Pour compléter les développements de notre sujet, nous donnons ici tous les éléments nécessaires pour choisir, parmi les principaux systèmes employés, celui qui convient le mieux au travail à exécuter, aux localités, et aux circonstances dans lesquelles les industriels se trouvent; nous y ajoutons des conseils sur la manière de traiter avec les mécaniciens. Nous avons vu des manufacturiers obligés, après de longues pertes, de changer leurs machines à vapeur contre des machines d'un système différent, pour n'avoir pas tenu compte, à la formation de leur établissement, soit du prix du combustible, soit des frais d'entretien de leur moteur.

Cette question de l'utilité pratique des différentes machines à vapeur est difficile, et l'on ne possède que peu de données sur leur comparaison : chaque constructeur adopte ordinairement un système, auquel il se livre entièrement, et, pour bien juger de leur mérite relatif, il faut avoir fait exécuter à chacune d'elles le même travail, dans les mêmes circonstances, et en avoir fait usage pendant un temps assez long.

Le grand nombre de machines de tous les systèmes que nous avons eu occasion de faire monter, donnera de l'autorité à nos conseils.

Une autre question sur laquelle nous appelons l'attention, et qui présente une importance aussi grande, c'est la comparaison pratique des divers genres de moteurs que l'on peut employer, pour exécuter un travail dans des circonstances données, principalement des cours d'eau, des moulins à vent, des manèges et des machines à vapeur, les seuls entre lesquels il y ait ordinairement à choisir.

579. *Des principaux systèmes de machines à vapeur.* — Dans les premières éditions du *Guide du chauffeur*, nous n'avons donné, avec tout leur développement, que les machines de *Woolf*, à deux cylindres ; on nous a fait remarquer avec raison que ces machines, qui ont des emplois spéciaux très-importants, ne pouvaient pas être adoptées dans beaucoup d'autres circonstances. Nous avons reconnu, en effet, que pour être complet et répondre à tous les besoins des industriels qui le consultent, notre ouvrage devait donner, avec tous leurs détails de construction, un petit nombre de machines qui présentent les principaux types employés en pratique, et qui pussent servir de modèle, soit par leurs excellentes dispositions, soit par la perfection de leur travail.

On trouvera donc ici les différents systèmes de machines à vapeur qui suivent :

1° Une des deux machines à condensation, à deux cylindres, à balancier et à grande détente, tracée et construite par MM. Windsor et C^{ie}, ingénieurs mécaniciens à Rouen. Nous avons fait monter ces machines à Nantes, M. L. Granger et

nous, avec leurs trains de pompe, leurs récipients d'air et tout le système hydraulique, pour la Compagnie générale des eaux de France ;

2° Une machine horizontale de 50 chevaux, à grande détente et à condensation, de M. Farcot, avec sa distribution et son modérateur à deux cônes ;

3° Une petite machine horizontale de M. E. Bourdon, que tout le monde peut voir dans les ateliers de M. Froment, à Paris, avec son système de détente variable et un nouveau modérateur à eau, à pompe excentrique ;

4° Un modèle de locomobile pour lequel nous avons pris la locomobile de la maison Calla ;

5° Plusieurs des locomotives les plus puissantes qui fonctionnent aujourd'hui sur les chemins de fer les mieux organisés ;

6° Diverses machines de la marine de l'État, et entre autres la machine de 1200 chevaux de la *Bretagne*, et une transatlantique qui nous a été donnée par M. Pastor, l'habile directeur des ateliers de Seraing, près Liège en Belgique.

On trouvera là les six principaux systèmes de machines motrices à vapeur, qui se prêtent à tous les services manufacturiers, et qui, en y ajoutant les machines d'élévation d'eau du Cornouailles, dont nous traitons aussi, peuvent répondre à tous les travaux industriels.

Le talent et l'expérience de leurs constructeurs sont d'ailleurs la plus grande garantie de la bonté des exemples que nous choisissons ; aussi ne donnerons-nous qu'une seule machine de chaque système principal ; les règles et les conseils qui en découlent seront plus clairs et plus simples.

580. *Des divers systèmes de machines à vapeur.* — Notre ouvrage n'est pas un traité de construction de machines à vapeur ; cependant, en donnant les pièces détachées de chacune des machines dont nous parlons, avec des observations sur les meilleures formes à adopter ; dans chaque système ; il en sortira des règles théoriques et pratiques, qui seront utiles aux ingénieurs mécaniciens, autant qu'aux manufacturiers.

Avant de donner les pièces de chaque machine, nous indiquerons quelles sont les différences principales qui existent entre elles, quelles sont les qualités particulières de chaque système, et quels sont les emplois auxquels il s'applique le mieux.

C'est en effet là la question la plus importante pour l'industrie ; comme toujours, nos conseils sont affranchis de tout intérêt personnel. Pour aborder même plus directement la question économique, nous donnerons plus tard les poids détaillés des principales machines. Il est inutile d'entrer dans le détail du mode de construction de chaque mécanicien, mode que l'on trouve très-varié, surtout dans les petites machines, parce qu'il rentre dans les classes dont nous allons parler, et qu'en laissant les formes à part, les différences qui les distinguent ne sont pas appréciables.

De toutes les inventions, vraies ou imaginaires, dont les machines ont été depuis cinquante ans l'objet, pour en tourmenter les dispositions, aucune, à peu près, n'a survécu ailleurs que dans la collection des brevets anglais ou français, et dans celle du Conservatoire des arts et métiers. La liste en serait trop longue. On ne peut pas tracer des règles pour la conduite d'une machine unique, qui ne fonctionne que chez son inventeur.

Les machines à vapeur employées dans les grands travaux sont de plusieurs espèces :

1° Les machines dites atmosphériques et à simple effet ; dans ces machines, la vapeur agit seulement sur un côté du piston et le poids de l'atmosphère sur l'autre ; ces machines, qui sont les plus anciennes, sont exclusivement appliquées aux épuisements des mines. Presque toutes les machines dites du Cornouailles sont de ce genre ;

2° Les machines à double effet à basse pression et à condensation, dites de Watt ; on y emploie la vapeur à une pression égale ou supérieure de peu à la pression de l'air, et elle agit alternativement dessus et dessous le piston ;

3° Les machines à moyenne pression et à double effet avec condenseur ; la vapeur y travaille à une pression de quatre à sept atmosphères ;

4° Les machines à haute pression et à double effet, où la vapeur agit ordinairement depuis cinq jusqu'à huit atmosphères, sans condensation.

581. *Des machines à vapeur à haute pression sans condensation.*

— Parmi les machines que l'on construit aujourd'hui, les unes condensent la vapeur dans de l'eau froide, après qu'elle a travaillé sur les pistons ; les autres, dites à haute pression, la laissent échapper directement dans l'air.

Ces dernières sont d'une construction plus simple, par conséquent d'un prix moins élevé que les autres machines. Mais leur mérite principal est de *ne consommer que très-peu d'eau*, puisqu'il suffit de remplacer dans la chaudière celle qui se convertit en vapeur : tandis que la condensation de cette vapeur demanderait une quantité d'eau environ trente fois plus grande. D'un autre côté, elles consomment beaucoup plus de combustible que les machines à deux cylindres de Woolf, et que toute machine à moyenne pression et à condensation ; elles sont en même temps plus exposées aux accidents ou aux désagréments dus à la forte pression de la vapeur : pertes de vapeur par le piston, les boîtes à étoupes et les masticages, détérioration de tous les ajustements et des pièces, et surtout de la transmission de mouvement des tiroirs, toujours lourds à conduire sous la forte pression qu'ils éprouvent ; frottements considérables du piston contre le cylindre, nécessaire pour résister à la pression de la vapeur ; déchirures et fractures des bouilleurs et de la chaudière (25). Ajoutons que les défauts des machines à haute pression y sont portés à un degré de plus, puisque, le vide ne se produisant pas sous le piston, on est obligé, à force égale, d'élever la vapeur à une atmosphère de plus que dans les machines à condensation, pour équilibrer et soulever le poids de l'air : surcroît notable de fatigue pour les masticages et les chaudières. Ajoutons de plus que les machines à haute pression, où l'on utilise la détente de la vapeur, n'ont pas une marche aussi régulière que celles à basse pression et que les machines à deux cylindres. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

582. *Leur emploi le plus utile.* — En comparant les avantages et les défauts des machines à haute pression sans condensation, on voit qu'elles trouvent une application utile partout où la houille est à bon marché, et partout où l'on ne saurait se procurer assez d'eau pour condenser la vapeur produite. Dès que l'on a largement de l'eau à sa disposition, il y a économie de combustible et d'entretien à condenser la vapeur ; à moins que l'on ne puisse utiliser pour un service particulier toute celle qui a travaillé dans la machine. Nous avons indiqué les meilleurs procédés pour employer la vapeur perdue (404) au chauffage des ateliers, de l'eau des teintureries, ou des blanchisseries, etc. L'appareil de condensation de S. Hall et celui de M. P. Pimont, dont nous avons parlé plus haut, sont alors très-utiles. On ne doit se servir ainsi de la vapeur que quand il y a nécessité de ne pas condenser ; son passage à travers de longs tuyaux donne toujours un surcroît de pression et de résistance à celle qui travaille dans la machine, et en gêne le dégagement ; il y a aussi des inconvénients à faire dépendre l'une de l'autre deux opérations distinctes. Il est souvent plus avantageux et plus économique de condenser la vapeur de la machine, ce qui réduit la dépense de combustible de plus de moitié, et de produire de nouvelle vapeur pour le chauffage des ateliers, puisque, même en employant à ce dernier usage celle de la machine motrice, il faudrait encore avoir une seconde chaudière pour chauffer quand la machine est arrêtée. Ainsi, hors le cas de manque d'eau, celui de petites puissances ou pour la question économique, on doit éviter d'employer les machines à haute pression comme machine fixe.

Nous avons expliqué, en parlant du chauffage de l'atelier de reliure de MM. A. Mame et C^e (417), quelles dispositions d'appareils on doit prendre pour utiliser la vapeur perdue d'une machine motrice, sans gêner le travail du piston, et pour que l'emploi de la vapeur ne donne qu'une arrière-pression très-faible, et dont nous avons précisé la limite supérieure.

Les prix beaucoup plus bas auxquels reviennent ces machines

sont encore une cause d'emploi très-fréquent pour celles à haute pression sans condensation.

583. *Appliquées aux remorquages dans les locomotives.* — Mais le plus important emploi des machines sans condensation, et celui auquel elles conviennent seules, est sur les locomotives destinées aux chemins de fer. On ne peut se servir en pareil cas de machines à condensation : il serait impossible de transporter les masses d'eau nécessaires au service.

Ces machines ont de plus une qualité qui est ici d'une haute importance; par suite de la simplicité de leur construction, elles sont beaucoup plus légères que les autres systèmes.

584. *De la consommation des machines sans condensation.* — Les machines à haute pression, sans condensation, comme celles de M. E. Bourdon, et d'autres habiles mécaniciens, telles qu'on en construit beaucoup aujourd'hui, réclament une quantité de houille qui tient à peu près le milieu entre celles que demandent les machines de Woolf et les machines à basse pression, c'est-à-dire qu'elles consomment de $3 \frac{3}{4}$ à $4 \frac{1}{2}$ k. de bonne houille par chaque force de cheval et par heure; les machines moins bien faites vont très-souvent jusqu'à 5 k.

Nous parlons ici des machines au-dessus de quatre chevaux, parce que au-dessous, comme celles de tous les systèmes, elles consomment proportionnellement plus de combustible. Nous fixerons plus loin cette dépense.

585. *Des machines à vapeur à haute pression et à condensation : de l'irrégularité de leur marche.* — Une partie des inconvénients que nous avons signalés dans l'emploi des machines à haute pression, sans condensation, disparaît quand on condense. La pression diminue, comme aussi la consommation de combustible; mais leur défaut le plus grand persiste, c'est l'irrégularité de leur marche, quand on utilise la détente avec un seul cylindre, ou la grande consommation, quand on ne détend pas. En effet, les machines à un cylindre, où la vapeur, admise avec sa pression entière, pendant une partie seulement de la course du piston, se détend pendant le reste de cette course, sont soumises

à une force d'impulsion qui va en décroissant rapidement avec la pression de la vapeur. Aussi la vitesse du piston est-elle plus grande au commencement de sa course qu'à la fin, et la marche de la machine fort irrégulière. Ces différences sont assez sensibles pour que l'on ne puisse pas employer avantageusement ces machines aux travaux qui demandent une grande régularité, comme la filature du coton, dans les numéros un peu élevés, celle du lin, etc.

586. *Machines à un cylindre vertical et à condensation de M. Farcot.* — M. Farcot a cependant réussi à faire des machines à un cylindre et à grande détente, dans lesquelles l'irrégularité de mouvement, corrigée par un fort volant, est peu sensible. Ce sont des machines construites avec beaucoup de talent et de soins, où le cylindre est enveloppé d'une chemise ; mais sans les avoir employées nous-mêmes, nous ne leur croyons pas la régularité admirable des machines à deux cylindres. M. Farcot y a ajouté une détente variable qui permet de changer en marchant le degré de la détente, sans éprouver dans les grandes détentes ce que donnent presque toutes les machines de ce système, une vive secousse au moment où le piston commence à remonter, secousse due à l'énorme effort qu'il éprouve alors, proportionnellement à l'effort minimum qu'il éprouvait dans l'instant précédent. Nous reviendrons plus tard sur la distribution de vapeur de M. Farcot.

C'est probablement pour éviter ce fâcheux inconvénient que Woolf a employé deux cylindres et deux pistons, dont l'un supporte pendant toute sa course, ou une partie de sa course, l'action de la vapeur à pression entière, et l'autre reçoit l'effort de cette même vapeur qui se détend ; de sorte que l'affaiblissement total de la somme des pressions qui agissent sur le piston est beaucoup moins considérable que lorsqu'il a lieu dans un seul cylindre : la puissance qui agit sur les deux pistons n'est pas diminuée de moitié à la fin de leur course, lors même que la vapeur se détend de sept et huit fois son volume primitif et plus ; tandis que, dans un seul cylindre, elle est réduite au quart et même au huitième.

Ces machines ont encore un défaut, les refroidissements et les

réchauffements alternatifs que le cylindre éprouve à chaque coup de piston, par la détente.

Ainsi, dans les machines de Woolf, l'action du volant suffit pour compenser exactement cette inégalité de pression, et les rendre aussi bonnes aux travaux les plus délicats et les plus réguliers que les machines à basse pression, dans lesquelles on laisse aujourd'hui la vapeur opérer une légère détente.

587. *De leur emploi sur les steamers et de leur consommation.*
— Ainsi le grand défaut des machines à haute pression à un cylindre à condensation, et à détente, c'est-à-dire quand on admet la vapeur dans le cylindre pendant un quart ou un cinquième de la course du piston, et qu'on la laisse opérer sa détente, est de ne pas donner un mouvement régulier. Comme nous l'avons dit, leur consommation dépasse peu celle des machines de Woolf. Cependant un moindre prix d'achat, plus de simplicité dans la construction, les font employer avantageusement dans les travaux qui n'exigent pas une parfaite régularité de mouvement.

Elles sont adoptées sur la plupart des bateaux à vapeur en Amérique, où aucune loi n'en gêne le développement, comme en Angleterre et en France : c'est un emploi qui leur convient parfaitement ; dans les manufactures, il faut choisir les machines à haute pression sans condensation, si l'on manque d'eau et si le combustible est à bon marché, et celles de Woolf, si ce dernier est cher : le point important étant la perfection et la régularité du moteur. Sur les houillères, il vaut évidemment mieux employer des machines à haute pression ; d'abord, elles sont plus simples de construction, plus économiques à établir, et l'on pourrait difficilement confier à des mains peu soigneuses des machines délicatement travaillées. On leur fait de plus consommer tous les menus et les déchets, dont on ne sait souvent que faire ; tandis que sur les bateaux à vapeur les machines à haute pression à détente et à condensation, réunissent jusqu'à présent les deux grands avantages de ne pas consommer beaucoup plus de houille, et d'être moins lourdes que les machines à deux cylindres.

588. *Machines horizontales à haute pression.* — Il y a un système de machines qui a aujourd'hui les emplois les plus étendus, et où l'inégalité, due à une grande détente, disparaît tout à fait sous l'action d'une grande vitesse et d'un volant puissant. Ce sont les machines horizontales, qui ont aussi l'avantage d'être plus simples de construction, de coûter beaucoup moins cher et d'exiger des massifs moins considérables que les machines à balancier, ou même à guides verticaux. C'est une machine de ce système, de M. E. Bourdon, que nous donnons ici comme modèle de machine à haute pression, sans condensation. Ce système occupe peu de hauteur, ce qui facilite encore sa pose partout.

589. *Des machines à trois cylindres.* — Aitkins et Steele ont construit des machines à trois cylindres; l'excessive difficulté des ajustements dans les passages de vapeur y a fait renoncer. Un des ingénieurs les plus estimés de Rouen, M. L. Granger, a levé les difficultés d'ajustement des cylindres avec la chemise, en les faisant couler d'une seule pièce. Plusieurs machines de ce système donnent de bons résultats; mais l'augmentation des frais de construction, celle des frottements, surtout ceux d'un piston de plus, compensent les avantages et donnent des résultats qui ne diffèrent pas de ceux des machines à deux cylindres. Le principe de leur construction est de faire travailler la vapeur à pleine pression alternativement dans deux petits cylindres, avant de la conduire dans le grand, de manière à obtenir en même temps le vide du condenseur, derrière le petit piston poussé par la vapeur à pleine pression, et derrière le grand piston poussé par la vapeur de la demi-course précédente, qui se détend. Sur le deuxième piston, la vapeur est équilibrée des deux côtés, et il ne marche qu'entraîné par le mouvement de la machine; dans les machines de Woolf, au contraire, le grand piston ne rencontre derrière lui que le vide du condenseur; mais le petit piston a, comme arrière-pression, la pression moyenne de la vapeur qui se détend dans le grand cylindre.

On évite toute cette arrière-pression sur le petit piston avec la machine à trois cylindres. Ce système de machines est peu employé.

590. *Des machines de Woolf : inconvénients des machines à vapeur à moyenne pression et à deux cylindres.* — Dans la plupart des ateliers, il faut choisir entre les machines de Woolf, à moyenne pression et à deux cylindres, et celles à haute pression. Faisons apprécier les circonstances qui doivent faire préférer un système à l'autre.

Les premières présentent dans l'emploi de la vapeur et dans leur construction plus de complication d'ajustements, et exigent une grande perfection de construction. La vapeur perd sur sa route une partie de sa puissance par des circulations plus compliquées. Elle travaille avec une pression quatre fois plus grande que dans les machines de Watt, et avec un effort plus grand sur la chaudière, les cylindres, les enveloppes qui la contiennent, et les masticages qui en ferment les divers ajustements ; mais elle travaille à une pression moindre que dans les machines sans condensation. Leurs ajustements, attaqués par de la vapeur plus puissante, pourraient, si on ne les soignait pas, livrer passage à la vapeur qui s'échappe, à l'air qui s'introduit dans la machine, d'où résulterait une double perte de force et de combustible. Il s'exerce de plus sur les régulateurs une pression considérable, qu'il faut vaincre, et qui tend à faire passer la vapeur entre les pistons et les cylindres, pour la chasser du côté où la tension est beaucoup moindre. Il faut donc, outre un alésage parfait, qui est toujours indispensable dans une bonne machine, donner beaucoup de bande aux ressorts des pistons, afin de presser les segments contre le cylindre, et de fermer tout passage à la vapeur, ce qui produit un frottement considérable, l'une des grandes pertes de force des machines à vapeur.

Sous l'action de cette pression, les ajustements compliqués du parallélogramme, où le nombre des pièces est plus grand que dans les machines à basse pression, ceux de la tête de la bielle, et tous ceux qui supportent un puissant effort, comme le grain de la manivelle, sont exposés à de fréquentes variations de mouvement, à des ébranlements plus profonds. Ces pièces se détruiraient rapidement, si l'on ne prenait les précautions nécessaires

pour prévenir les suites d'un premier accident, qui serait d'autant plus grave, que la vapeur agit ici avec une grande énergie, et que l'obstacle opposé par les parties dérangées, en accroît l'effet, et donne lieu à de nouveaux chocs. Ces secousses profondes, dues à l'usure d'une pièce, ou au dérèglement d'une autre, se propagent jusque dans les massifs qui portent la machine et le bâtiment qui la contient; elles ébranlent et détachent les scellements qui doivent la fixer invariablement à la maçonnerie, et se multiplient les unes par les autres. Tels sont les phénomènes qui se produisent dans les machines à haute pression, pour peu qu'on en néglige l'entretien.

591. Ces causes plus fréquentes d'accidents occasionneraient, avec ce genre de machines, des chômages dangereux pour les établissements industriels, et des frais d'entretien plus considérables, si la perfection apportée dans leur construction par les bons ateliers et les soins qu'on leur donne n'avaient réduit aujourd'hui les accidents à n'être pas plus nombreux même que dans les machines à basse pression. L'on ne doit pas calculer sur un temps moins long pour la durée des machines de Woolf, que pour celle même des machines de Watt.

Ces chances de réparations et d'arrêts exigent aussi que l'on donne des soins tout particuliers à la pose, et surtout à la conduite et à l'entretien journalier des machines à deux cylindres, et qu'on ne laisse aucune irrégularité de marche, sans en rechercher la cause, sans en neutraliser immédiatement les effets. La surveillance, dont les résultats sont si graves, ne demande que peu d'instantanés au propriétaire. Ainsi, le système à moyenne pression et à deux cylindres, comparé aux machines à basse pression, sous le rapport de la complication des pièces et de l'action plus énergique de la vapeur, peut entraîner l'établissement qu'elles conduisent dans quelques frais de réparation et de chômage. Cependant, une bonne machine à deux cylindres, bien entretenue, ne donne pas, par année, plus de deux ou trois jours de perte pour réparations, et nous en connaissons qui n'arrêtent pour ainsi dire jamais.

592. *Des avantages des machines à basse pression.* — En présentant et exagérant les défauts des machines de Woolf, nous avons fait comprendre les avantages de celles de Watt. La simplicité de leur construction, et du mode d'action de la vapeur, la faible tension qu'elle y possède, presque complètement équilibrée sur les masticages par la pression de l'atmosphère, la facilité de leur conduite, l'aisance des mouvements, et le degré de solidité et de fixité plus grand qui en résultent dans toute la machine, font disparaître les accidents auxquels toutes les machines sont exposées, prolongent leur durée, et en suppriment presque entièrement les frais d'entretien et de chômage; en un mot la régularité parfaite et la constance de leur travail, qui se soutient quelquefois plusieurs années sans accident sérieux, en feraient un outil très-précieux dans les ateliers, sans la dépense de combustible. Faisons remarquer que les machines à basse pression, qui sont d'un usage si général en Angleterre, ne sont employées en France que dans les mines, sur les steamers de grande navigation et sur ceux de l'État.

593. *Avantages des machines de Woolf, défauts de celles de Watt; de leur consommation en combustible et puissance des deux systèmes.* — Nous avons examiné les machines à moyenne pression sous le rapport de leurs défauts; mais ces défauts, l'excellente construction des machines exécutées aujourd'hui les fait disparaître; nous connaissons des machines à deux cylindres qui travaillent depuis quinze ans, et qui sont dans un parfait état. Il faut donc étudier ces défauts pour les combattre, et les comparer aux inconvénients que présentent les autres systèmes de machines, afin de pouvoir apprécier dans quelles circonstances on doit préférer les unes aux autres.

La plus grande qualité des machines de Woolf, celle qui seule compense tous leurs défauts, est de brûler trois ou quatre fois moins de houille que les machines à basse pression. Ce fait n'est pas contesté. Si l'on peut varier sur la quantité de combustible que consomment ces diverses machines, par force de cheval, suivant que les machines et leurs fourneaux sont plus ou moins

bien construits et conduits, que la charge est plus ou moins grande, que le combustible a plus ou moins de qualité; il est toujours certain que partout les machines à basse pression les mieux construites, consomment énormément plus de combustible que les bonnes machines à moyenne pression.

Consommations.

594. *Consommation des machines à deux cylindres.* — Les machines à deux cylindres, sorties des meilleurs ateliers de construction, ne consomment que 2 k. 50 de bonne houille par cheval et par heure de travail, pour leur charge complète, mais sans excès, depuis 4 jusqu'à 12 chevaux. De 15 à 20, elles consomment 2 k.; au-dessus, avec de grandes détentes, la consommation descend à 1 k. 50 et même à 1 kil. 25, bien entendu quand elles sont en bon état et bien soignées, en y comprenant la houille nécessaire pour chauffer le matin. Dans les anciennes machines où la détente, dans le grand cylindre, n'était que dans le rapport de 1 à 4, la consommation, au-dessus de 8 chevaux, était de 3 k., et au-dessous de 3 k. 50.

595. *Consommation des machines à deux cylindres de 45 chevaux, construites par MM. Windsor et C^{ie}, de Rouen, pour l'établissement hydraulique de Nantes.* — La machine à deux cylindres de 45 chevaux de puissance, que nous donnons ici avec tous ses détails de construction, est une des machines que nous avons montées avec M. Louis Granger, de Rouen, pour la Compagnie générale des eaux de France, à l'établissement hydraulique de la ville de Nantes. Ces machines et les pompes ont été construites par MM. Windsor et C^{ie}, ingénieurs mécaniciens très-habiles de Rouen.

La compagnie a traité pour ce travail avec MM. GRANGER ET GROUVELLE, qui avaient tous deux étudié d'avance les dispositions et les détails du système hydraulique complet, d'accord avec MM. Jegou et Watier, ingénieurs des ponts et chaussées à Nantes.

L'eau à distribuer est prise dans la Loire, à l'extrémité amont des quais ; elle est aspirée par deux machines à vapeur jumelles et refoulée dans le réseau de distribution par deux conduites principales, qui aboutissent aux bassins placés sur le point culminant de la ville.

La quantité d'eau à élever en 18 heures au plus, d'après le traité, était de 6000 mètres cubes pour les deux machines réunies.

Les machines sont à 45 mètres de la Loire. Les tuyaux d'aspiration, en tôle bitumée de Chameroi, sont placés dans une galerie, sous le quai de Richcbourg.

Les machines ont des balanciers de 7 mètres de longueur, et de 1 mètre de hauteur au milieu ; elles sont à volants et du système de Woolf.

Chacune d'elles met en mouvement deux pompes aspirantes et foulantes, placées symétriquement des deux côtés de l'axe de rotation du balancier ; leur piston est plein, les clapets sont placés à côté et peuvent être visités et changés très-facilement pendant la marche. Les machines et les pompes donnent

Coups de piston par minute,	16
Course du piston du grand cylindre,	mèt. 2
Course du petit piston,	1,58
Diamètre du grand cylindre,	0,828
Id. du petit cylindre,	0,348
Course des pistons des pompes,	1
Diamètre des corps de pompe,	0,382

La vapeur n'est introduite, dans sa marche normale, que pendant 1/5 de la course des petits pistons. Une détente variable permet de diminuer ou d'augmenter, selon les besoins, la quantité de vapeur introduite à pleine pression ; et la détente peut être portée à trente fois le volume primitif. Chaque tuyau d'aspiration porte un réservoir d'air de mètres cubes 0,320 ; les réservoirs d'air placés sur les tuyaux de refoulement ont 7 mètres cubes ; à chaque machine est attelée une pompe qui refoule, au besoin, de l'air dans ces réservoirs. L'eau des condenseurs est

aspirée directement dans la Loire par les pompes à air, au moyen de tuyaux spéciaux.

Eau de condensation, par minute, lit. 256
Hauteur maxima d'aspiration des pompes au-dessus de l'étiage, mètr. 5,20

La vapeur est produite, pour chaque machine, par une chaudière à bouilleurs dont le corps a,

De diamètre, mètr. 1,10
De longueur, 11
Diamètre des deux bouilleurs, 0,60

Un bouilleur alimentaire pareil, reçoit le premier les eaux d'alimentation.

Il y a une troisième chaudière pour rechange.

Surface de chauffe de chaque chaudière, mètr. 76
Soit par cheval, sur 45 chevaux, 1,70

Ces machines ont commencé à fonctionner en mai 1854. Le 4 juin 1857, les ingénieurs, après une visite des appareils, ont déclaré ce qui suit :

« Les machines fonctionnent parfaitement; elles ont satisfait »
» aux épreuves prescrites par le cahier des charges. Le délai de »
» garantie étant expiré, il y a lieu de les recevoir définitivement, »
» et il y a lieu de payer aux fournisseurs la prime qui leur »
» est due, aux termes du cahier des charges, prime basée sur le »
» résultat des épreuves qui ont établi que la consommation de »
» combustible était de 1 k. 204 par heure, et par force de che- »
» val mesurée en eau montée. »

596. *Procès-verbal du 2 décembre 1856, sur l'épreuve de la machine n° 1.*

Le manomètre employé permettait de mesurer directement la hauteur de la colonne de mercure. On a obtenu les résultats suivants :

Hauteur de l'eau dans le réservoir d'air au-dessus du niveau effectif de l'eau en Loire, mètr. 5,32

Pression de la colonne ascensionnelle, mesurée par un manomètre à air libre, en relation avec le réservoir d'air :

1° Au début de l'expérience,	mèt. 30,30	} Différ. 3,90
2° A la fin,	34,20	
3° En moyenne,	32,25	

Hauteur totale correspondant au travail de la machine, en moyenne, durant l'expérience, $(32,25 + 5,32) = 37,57$

Volume total de l'eau élevée en 11 heures,	mèt. c. 2304	
Id. id. par heure,	209,454	
Id. id. par minute,	3,491	
Id. id. par seconde,	lit. 58,18	
Nombre de coups de piston par minute,	17,71	
Quantité de travail développée,	$\frac{58,10 \times 37,57}{75} =$ chevaux 29,144	

La quantité de charbon brûlée en 11 heures a été de 400 k.

La quantité par force de cheval et par heure, mesurée en eau montée, est donc

$$\text{de } \frac{400}{29,144 \times 11} = \text{kil. } 1,248.$$

La tension effective de la vapeur de la chaudière a été trouvée de 4 atm. 172 en moyenne, durant toute l'expérience.

Nota. La hauteur effective du fond du bassin dans lequel on a refoulé l'eau, comptée au-dessus du niveau de la Loire, au droit des machines, le jour de l'expérience, est de 31 mètres.

Le manomètre ayant accusé une pression

$$\text{de } (30,30 + 5,32) = 35,62,$$

il s'ensuit que les frottements, dans la conduite ascensionnelle, correspondent à une hauteur d'eau

$$\text{de } \sim 4,62.$$

Cette conduite a une longueur

$$\text{de } 1750 \text{ mètr. et un diamètre de } 0,299.$$

597. *Machine n° 2.* — Le 6 décembre 1856 on a procédé à une seconde épreuve de la machine n° 2, déjà éprouvée le 8 novembre.

Les pressions de la colonne ascensionnelle ont été mesurées avec le manomètre dont on s'est servi le 2 décembre.

L'épreuve a duré 18 heures. Elle a été fractionnée en deux parties, qu'on peut considérer isolément et réunies ensuite.

On a obtenu les résultats suivants :

Première période (8 heures de durée).

Hauteur de l'eau dans le réservoir d'air au-dessus du niveau de la Loire (aspiration),	mèt. 4,95
Pression de la colonne ascensionnelle, mesurée par un manomètre à air libre en relation avec le réservoir d'air :	
1° Au début de l'opération, à 8 h. 45 matin,	mèt. 30,40
2° A 4 h. 15,	32,00
3° Moyenne durant les 8 heures,	31,20
Hauteur totale correspondant en moyenne au travail de la machine,	$(31,20 + 4,95) = 36,15$
Volume de l'eau élevée en 8 heures,	1635,76
Id. id. par heure,	204,47
Id. id. par minute,	3,41
Id. id. par seconde,	lit. 56,80
Quantité de travail développée par la machine, mesurée en chevaux,	$\frac{56,80 \times 36,15}{75} = \text{chev. } 27,38$
Quantité de charbon brûlée en 8 heures,	kil. 271
Quantité de charbon brûlée par force de cheval et par heure, mesurée en eau montée,	$\frac{271}{8 \times 27,38} = \text{kil. } 1,24$

Deuxième période (10 heures de durée).

Hauteur de l'aspiration (comme pour la première période) =	mèt. 4,95	
Pression de la colonne ascensionnelle :		
1° Au début,	mèt. 32,00	} Différ. 2,06
2° A la fin,	34,06	
3° Moyenne pendant la deuxième période,		33,03
Hauteur totale correspondant au travail de la machine,		37,98
Volume total de l'eau élevée en 10 heures,		mèt. c. 1992,16
Id. id. par heure,		199,216
Id. id. par minute,		3,32
Id. id. par seconde,		lit. 55,33
Quantité de travail développée par la machine,		$\frac{55,33 \times 37,98}{75} = \text{chev. } 28,01$

Quantité de charbon brûlée en 10 heures, kil. 308
 Quantité de charbon brûlée par heure et par force de cheval,
 mesurée en eau montée, $\frac{308}{10 \times 28,01} = \text{kil. } 1,10$

Épreuve résumée (18 heures de durée).

Hauteur de l'aspiration, mètr 4,95
 Pression de la colonne ascensionnelle :
 1° Au début, mètr. 30,40 } Différ.
 2° A la fin, 34,07 } 3,67
 3° Moyenne, 32,235
 Hauteur totale correspondant au travail, 37,185
 Volume d'eau élevée en 18 heures, 3627,92
 Id. id. par heure, 201,55
 Id. id. par minute, 3,36
 Id. id. par seconde, lit. 55,98
 Quantité de travail produite par la machine, mesurée en che-
 vaux, $\frac{37,18 \times 55,98}{75} = \text{chev. } 27,78$
 Quantité de houille brûlée en 18 heures, kil. 579
 Quantité de houille brûlée par force de cheval et par heure,
 mesurée en eau montée, $\frac{579}{27,78 \times 18,00} = \text{kil. } 1,16$
 La tension de la vapeur s'est maintenue dans la chaudière à $4 \frac{4}{10}$

Le nombre de coups de piston par minute est de 17.

En conséquence des épreuves ci-dessus, il convient :

1° De rejeter, comme entachés d'erreur, les résultats obtenus, le 8 novembre dernier, sur la machine n° 2 ;

2° De fixer, ainsi qu'il suit, la consommation de combustible des machines par force de cheval et par heure :

Pour la machine n° 1,	kil. 1,248
Id. n° 2,	1,160
Moyenne,	<u>kil. 1,204</u>

Dressé par l'ingénieur soussigné.

Nantes, le 8 décembre 1856.

Signé : F. WATTIER.

Vu et approuvé par l'ingénieur en chef soussigné.

Nantes, le 9 décembre 1856.

Signé : A. JÉGOU.

598. *Résumé des expériences ci-dessus.* — Ainsi, la dépense moyenne de houille pour les deux machines de Nantes est de 1 k. 204 par cheval, le travail mesuré en eau montée, en comptant dans le travail des deux machines, les résistances données par 1,800 mètres de tuyaux, de 0,297 de diamètre, résistances mesurées à l'aide d'un manomètre placé à l'origine de la colonne de refoulement. Nous ne connaissons aucune machine qui, pour cette puissance, donne une si faible consommation. Ces résultats sont dus à la perfection que MM. Windsor et C^{ie} ont mise dans la combinaison, les proportions et la construction de leurs machines : ils sont dus à la détente, qui peut être portée à 30 fois le volume primitif de vapeur, aux larges surfaces de chauffe des chaudières et aux excellentes dispositions des fourneaux, dont le dernier carneau enveloppe un bouilleur de 10 mètres de longueur.

L'emploi d'un long bouilleur alimentaire ainsi placé est, en effet, une très-bonne chose, qui augmente beaucoup la production proportionnelle de vapeur.

Pour éviter que ces résultats si importants ne laissent dans les esprits des doutes sur leur vérité, nous avons donné ici intégralement les procès-verbaux dressés par les ingénieurs, d'après les expériences faites sur chacune des machines.

599. *Résultats résumés des expériences.* — Le volume d'eau élevé en 18 heures a été

Première expérience,	mèt. c. 3762
Deuxième expérience,	3627

en développant un travail utile de 27 et de 28 chevaux. On voit qu'il sera facile de porter bien plus haut le produit réel de ces machines, qui, avec leurs dimensions, peuvent donner plus de 50 chevaux d'effet utile.

La hauteur totale pour la colonne d'eau, y compris l'aspiration et les frottements dans les tuyaux, a été de	mèt. 37,10
La pression observée qui correspond aux frottements pour une colonne de 1753 mètres de tuyaux de mèt. 0,299, a été de	4,52
Dans une des expériences, la dépense de houille par cheval a été de	kil. 1,10

Elle ne s'est jamais élevée au-dessus de	1,24
La moyenne, comme nous l'avons dit, a été de	1,204
Pression de la vapeur,	4,40
Nombre de coups de piston par minute,	17

Depuis le jour de leur mise en activité, les machines et leurs pompes ont conservé la perfection de marche reconnue dans les expériences et dans le rapport de réception. La dépense si faible de houille n'a pas augmenté; et pas un dérangement ni une variation de s'est présentée dans la marche de ces belles machines, qui seront certainement toutes neuves, après bien des années de travail.

600. *Consommation des machines à basse pression dites de Watt.* — Nous avons toujours trouvé la consommation des machines à basse pression de Watt de 5, 6 et 8 k. de houille par cheval. Sur les steamers avec détente, elle ne descend pas au-dessous de 4 k. 5. Sans doute les défauts des fourneaux à vapeur sont plus graves sous les larges chaudières à basse pression que sous celles de Woolf; mais les chaudières à basse pression donnent un peu plus de vapeur que celles à moyenne ou à haute pression, de sorte qu'évidemment les machines à deux cylindres développent, en résultat définitif, une quantité de travail mécanique triple ou quadruple des machines à basse pression, avec la même quantité de combustible. Du reste, dans les petites puissances, on prend le plus ordinairement des machines sans condensation, qui coûtent moins cher d'achat, et pour lesquelles l'économie à obtenir, par l'emploi d'un système moins simple, est trop peu de chose, sur un petit nombre de chevaux.

601. *Consommation des machines horizontales à condensation, de M. Farcot.* — Nous avons dit, dans notre premier volume (185), en parlant des chaudières de M. Farcot, que la machine de 50 chevaux de MM. Utschneider et C^{ie}, de Sarreguemines, dépensait, dans un essai que nous avons fait, à peu près 1 k. 10 de houille par cheval; M. Farcot garantit 1 k. 50. Ainsi, comme les machines à deux cylindres à grande détente, la machine horizontale de M. Farcot dépense de 1 k. 10 à 1 k. 50 de houille par

cheval, quand elle a une vitesse de 30 tours par minute, et un volant très-grand et très-puissant, parce qu'alors elle est dans les conditions les plus parfaites de marche, pour qu'une détente considérable s'opère dans un seul cylindre, sans donner des variations trop grandes de vitesse de piston, ou des secousses. Avec des vitesses moindres, la machine doit consommer un peu plus.

Si la machine a une charge supérieure à sa puissance nominale, ce qui exige que l'on réduise le rapport de la détente et que l'on augmente le volume introduit à pleine pression, la consommation de la machine s'accroît et atteint, suivant le travail qu'elle fait, de 1 k. 50 à 1 k. 60. Toutes les machines à détente sont dans le même cas.

602. *Comparaison du système à deux cylindres avec les machines de M. Farcot.*—Ainsi, ces deux systèmes de machines qui prennent la vapeur à la même pression, qui emploient des détentes aussi considérables, qui condensent, et qui présentent tous deux une grande perfection de construction, consomment des quantités égales de houille par cheval, et marchent, sous ce rapport, à la tête de toutes les machines. Chaque système a cependant des qualités spéciales qui doivent le faire préférer à l'autre, dans des cas déterminés.

La machine à balancier et à deux cylindres est le type de la perfection pour la régularité de vitesse de piston, et pour l'égalité d'effort produit pendant la durée de chaque course, qualités qui sont dues, nous l'avons dit, à ce que la vapeur, dans la majeure partie de la détente, agit sur le grand piston, en même temps que la vapeur à pleine pression et la première partie de la détente agissent sur le petit piston, ce qui fait disparaître en grande partie l'inégalité d'efforts que le piston supporte, à l'origine et à la fin de sa course, dans la machine horizontale de M. Farcot.

La vitesse des pistons et de la manivelle est donc beaucoup plus uniforme pendant une révolution entière, avec les machines à deux cylindres qu'avec la machine horizontale à grande détente et à condensation.

C'est un fait qui s'explique naturellement, et qui se reconnaît sans peine dans les filatures, où les broches, qui font plusieurs milliers de tours en une minute, montrent très-clairement ces variations.

Les machines à deux cylindres, malgré leur prix plus élevé, sont donc les seules à adopter, toutes les fois qu'on a besoin d'une grande régularité de mouvement, comme dans les filatures, les tissages, et les ateliers de ce genre. Ce sont, en effet, des machines à deux cylindres que l'on monte dans toutes les filatures de la Picardie, de la Normandie, de l'Alsace, et du département du Nord, où nous ne connaissons pas une machine à grande détente et à un seul cylindre. La mouture du blé exige la même régularité de vitesse dans le piston.

603. *Emploi des machines à deux cylindres dans les élévations d'eau.* — Il y a encore un autre travail auquel les machines à deux cylindres conviennent mieux que tous les systèmes différents, ce sont les services d'élévation d'eau pour les villes. La première condition de bon travail d'une pompe à eau, c'est une marche très-lente.

Dans son traité de mécanique, Hachette fixait à 0,25 par seconde la vitesse normale d'un piston de pompe. Quand le piston marche trop vite, l'eau n'a pas le temps de venir remplir le corps de pompe; elle y arrive avec une rapidité trop grande et des contractions qui diminuent le produit de chaque coup de piston en eau, et qui consomment inutilement beaucoup de force mécanique. C'est par cette raison que nous avons réglé les pompes de Nantes, qui ont 1 mètre de course à 16 ou 18 coups par minute. La meilleure commande des pompes est de les attacher directement sur le balancier, ce qui détermine la vitesse de la machine elle-même à 17 ou 18 révolutions.

Une machine à deux cylindres de 50 chevaux, avec une course de piston de 1^m,60 environ, demande 16 ou 18 tours, pour avoir la vitesse qui donne le maximum d'effet utile; tandis que nous avons vu que la machine de MM. Utzschneider et Cie devait être réglée à 30 tours pour que l'on puisse utiliser la plus

grande détente et conserver au piston une régularité suffisante de marche.

Il y a donc entre la vitesse normale du piston d'une pompe à eau de grande puissance et celle d'une machine horizontale à grande détente, une différence qui donne ici une grande supériorité aux machines à deux cylindres.

Les emplois spéciaux de la machine horizontale à grande détente sont toutes les industries où l'on a besoin directement d'une grande vitesse, et où les variations de marche du piston ne nuisent pas au travail, comme l'atelier de broyage de la faïencerie de Sarreguemines, la fabrication de la céruse, le travail des métaux et du caoutchouc, le service d'un atelier de mécanique, les papeteries, etc.

Il nous suffira de poser ces principes ; chaque industrie en fera elle-même l'application.

604. *Consommation des machines à haute pression de M. E. Bourdon, pour les petites puissances.* — Nous avons été appelés, comme ingénieurs, à diriger l'établissement des machines à vapeur et des appareils mécaniques à la boulangerie générale et à la pharmacie centrale des hôpitaux de Paris.

Tous les appareils ont été fournis par M. E. Bourdon, et les machines à vapeur ont été essayées au frein par M. Combes, membre de l'Institut. La machine de huit chevaux de la boulangerie est à balancier ; elle a été trouvée consommer par cheval, à l'heure, 3 k. 90 de houille. La même machine, à dix chevaux, a consommé 3 k. 80.

La machine à vapeur de quatre chevaux de la pharmacie centrale a été reconnue brûler, par heure et par cheval, 4 k. 26 ; la même machine à six chevaux de puissance consomme 3 k. 83. Ce sont des machines construites avec les plus grands soins, et munies même d'un modérateur Larivière. Nous ne connaissons pas pour ces petites machines-là de consommation bien constatée, au-dessous de celle-ci.

605. *Excès de charge que peuvent supporter les machines de Woolf.* — Une observation nous a frappés : toutes les machines

à basse pression sont faiblement chargées, et, par leur principe même et leur construction, ne sont susceptibles d'aucune surcharge au delà de leur travail normal, quand elles peuvent le vaincre pleinement; tandis qu'à Elbeuf, comme à Rouen, dans les départements du Nord et en Alsace, il n'est pas une machine à deux cylindres à laquelle on n'ait donné, non sans danger cependant, une surcharge qui s'élève à 173 ou 172 de leur charge de règle. Quoique cette surcharge les fatigue, elles la soutiennent avec régularité, parce qu'on ne change rien à leur mode d'action, ni aux conditions de leur marche, en augmentant un peu la pression de la vapeur; tandis que, dans la machine à basse pression, dès que la tension augmente, la vapeur passe à travers le piston, même quand il est en métal; les chaudières ne sont pas en état de supporter cet excès de fatigue; leur eau remonte par le tuyau alimentaire, etc. On est, de plus, obligé de leur donner une énorme surface de chauffe, de sorte que très-souvent on les laisse trop petites, ce qui empêche de monter facilement à la pression nécessaire pour travailler, et de fournir la quantité de vapeur que demande cette augmentation de charge.

Quoique les machines de Woolf soient capables de recevoir un surcroît de travail, sans plier sous la charge, quand les besoins de l'établissement l'exigent, il faut se garder d'abuser de cette puissance pour les fatiguer sans cesse, car c'est la plus grande cause de dérangements, d'accidents et de chômages qu'une machine puisse rencontrer. Une machine de Woolf, qui n'entraîne que sa charge, marche avec la même régularité, la même constance, la même facilité, qu'une machine à basse pression: la surveillance qu'elle réclame ne demande pas plus d'attention, et sa conduite plus d'habileté. Mais aussitôt que l'on dépasse la limite de sa force, les conditions changent: les accidents arrivent, et c'est alors qu'il faut de grands soins pour la maintenir en bon état. Cependant, avec des surcharges de ce genre, on est parvenu à donner aux machines à deux cylindres de Rouen assez de régularité, pour que l'on ne compte plus, dans le cours entier du travail de l'année, que

deux ou trois jours de chômage, occasionnés par les réparations qu'exigent leurs machines, qui au reste ne travaillent pas la nuit, et auxquelles on fait les réparations courantes pendant le repos.

Il est difficile de compter sur moins d'un jour ou deux de chômage forcé par an, avec les basses pressions; l'avantage qu'elles offrent est donc nul sous ce rapport.

606. *Des frais proportionnels dans les divers systèmes de machines.* — Voici une évaluation des frais proportionnels qu'entraînent les trois systèmes de machines que nous avons pris pour types : on pourra adapter à ce modèle de compte les prix de la houille dans les différents pays, et il servira de premier guide dans le choix des systèmes de machines à vapeur à prendre, suivant les localités où l'on est placé.

Nous avons adopté, pour le prix de la houille, celui d'une partie des provinces du nord de la France, qui est à peu près de 40 fr. par 1,000 kilogrammes, et qui est aussi le prix dans Paris. Si le calcul avait été fait pour des houilles plus chères, il serait évidemment plus avantageux encore aux machines de Woolf.

607. Entretien.

Voici résumés les comptes d'entretien et de menus frais journaliers des trois systèmes de machines que nous donnons ici. Pour que les résultats et la comparaison en soient plus sûrs et plus complets, nous avons d'abord choisi les comptes de plusieurs grandes machines :

1° La machine de 40 chevaux à deux cylindres, construite par M. L. Granger de Rouen, pour M. Guillemet fils aîné, filateur à Nantes ;

2° Le compte de la machine horizontale à condensation de 50 chevaux de M. Farcot, qui dessert la faïencerie de Sarreguemines ; compte qui nous a été communiqué par M. de Jubecourt, sous-directeur ;

3° Les comptes d'entretien d'une machine de 30 chevaux, à cylindre incliné, qui conduit une partie des machines de la compagnie nationale du caoutchouc, rue Piepus, comptes qui nous ont été remis par M. Wagner lui-même.

Ce sont trois établissements où les machines à vapeur sont également bien entretenues, conduites et surveillées. La fabrique de caoutchouc est celle des trois où les machines motrices sont le plus chargées, comme cela a lieu dans ce genre d'établissement. On comprendra sans peine quel intérêt présentent ces résultats, certains d'abord en eux-mêmes comme base d'entretien, ensuite, comme moyen de comparaison entre divers systèmes.

608. *Entretiens de la machine à deux cylindres de M. Granger de 40 chevaux, et fonctionnant à 30 chevaux.* — Depuis huit années que cette machine est montée, malgré un travail non interrompu, mais inférieur à sa force, elle n'a pas encore eu de réparations.

Elle dépense par jour :

Huile de pied de bœuf,		kil 0,500
Suif,		0,800
		<hr/>
Soit par an, pour 300 jours de travail :		
Huile de pied de bœuf,	kil. 150 à fr. 1,60 =	fr. 240
Suif,	240 à 1,50 =	360
Étoupe, environ		30
Mastic rouge, plomb, cuir,		50
Boulons, grains, etc.,		100
		<hr/>
Frais journaliers,		fr. 780
Soit par jour moyen,		2,60

Les frais d'entretien des fourneaux à vapeur sont assez importants; les chaudières qui faisaient précédemment le service d'une machine de 25 chevaux étant trop petites, on détruit un assortiment de barreaux de grilles par an, en sus des réparations des briquetages, qui, avec les barreaux de grille et les ramonages, valent par an 400 fr.

Cette chaudière est aujourd'hui chauffée par un foyer fumivore mécanique de M. Guillemet, dont nous parlerons plus loin, et qui ne change rien à l'entretien de la machine.

609. *Frais d'entretien d'une machine horizontale, à condensation, de 50 chevaux de M. Farcot.* — Compte depuis le 1^{er} janvier jusqu'au 31 décembre 1857.

Pour la machine :

	kil.	fr.	fr.
Suif de première qualité, bien épuré,	622	à 1,52 =	945,44
Huile de pied de bœuf d'Arras,	258	à 1,59 =	410,22
Chanvre de Strasbourg long,	12,45	à 3 =	37,35
Coton filé écru, en pièces,	12,44	à 3,20 =	39,30
Déchets de coton pour nettoyer,	126	à 0,75 =	94,50
Un des clapets en caoutchouc de la pompe à air,			30
			<hr/>
Total pour la machine,			fr. 1556,81

Pour les chaudières :

		fr.	fr.
Tubes indicateurs en verre,	pièces 6 à 2	=	12
Rondelles en caoutchouc pour bourrage des tubes ci-dessus,	24 à 0,50 =		12
Mastic noir de Serbat,	kil. 13 à 0,80 =		10,40
		fr. 34,40	34,40
Frais de nettoyage des chaudières,			24
			<hr/>
Total général par an,			fr. 1615,21

Cette machine marche le jour et la nuit, elle n'est arrêtée que les jours de fêtes et les dimanches du samedi soir au lundi matin, ce qui donne un travail effectif de :

Jours de vingt-quatre heures,	285
Dépense par jour de vingt-quatre heures,	5 fr. 67

Il est bien entendu que les frais d'entretien des fourneaux et des barreaux de grille sont en dehors de ce compte. Les eaux de la Sarre, qui alimentent là les chaudières, ne donnent pas de dépôts adhérents : les frais de nettoyage des générateurs ne sont donc pas considérables.

Ce nettoyage est fait par l'homme qui est chargé du graissage des moulins de broyage et des transmissions.

On vide une chaudière tous les deux mois, ce qui donne un nettoyage chaque mois par chaudière.

L'huile fournie par une maison d'Arras (dép. du Nord), paraît être un mélange d'huile de pieds de bœuf et d'huile de colza.

Sur toutes les qualités prises à de nombreux fournisseurs, celle-là seule sort des pièces mécaniques qui travaillent sans être noire.

Le prix de l'hectolitre, de 91 k. environ, est de 145 fr.

Le suif est fourni par un fabricant de chandelles de Sarreguemines, ce qui permet de le choisir toujours de première qualité. M. de Jubécourt préfère le suif de première qualité, et bien épuré, à toute autre graisse.

Avec ce suif il trouve, au bout d'un an, son piston parfaitement propre, et il peut faire fonctionner aisément les cames qui écartent les garnitures, tandis qu'avec presque toutes les autres graisses, le piston, en quatre ou cinq mois, était rempli d'une crasse charbonneuse très-dangereuse et très-nuisible. Pour nettoyer le piston, on devait démonter trop fréquemment le couvercle du cylindre, travail qui ne se fait pas sans danger de rupture, puisqu'il faut enfoncer des coins autour de la bride du cylindre.

Le chanvre et le coton pour bourrage sont achetés chez un détaillant de la ville, à mesure des besoins, pour éviter le gaspillage inévitable dans un grand établissement.

Les déchets de coton viennent d'une fabrique de Mulhouse, au prix de 75 fr. les 100 k. rendus.

On pourrait, dit M. de Jubécourt, réduire les quantités employées; mais il exige, avec raison, la plus grande propreté pour la machine, et les déchets, après avoir servi ainsi, sont employés au nettoyage des transmissions. Les tubes indicateurs viennent de la cristallerie de Saint-Louis. — On en brise peu, parce qu'ils sont très-près de la chaudière et que les bourrages, en caoutchouc et en coton, empêchent tout passage d'eau ou de vapeur.

Le mastic noir, conservé sous l'eau, vient de M. Serbat, à Saint-Sauveur (dép. du Nord). Il coûte 24 fr. la petite caisse de 30 k. rendue; il est très-beau et n'exige point de main-d'œuvre.

Il remplace le mastie au minium qui ne résiste pas aussi longtemps et qui est souvent mal fait.

La machine de M. Farcot fonctionne jour et nuit depuis le mois de mai 1854 : les coussinets ne se sont jamais échauffés, et ne sont pas encore assez usés pour avoir exigé des rehausses en tôle.

Outre les comptes d'entretien des trois machines ci-dessus, qui forment les trois types des machines d'atelier, nous donnons les frais comparatifs annuels de trois machines de 15 chevaux, l'une à basse, l'autre à haute pression, et la troisième à deux cylindres.

Frais annuels des machines à deux cylindres.

610. *Durée des diverses pièces.* — La durée moyenne des différentes pièces d'une machine à vapeur à deux cylindres, bien entretenue, peut être estimée comme suit, d'après les résultats obtenus par M. Crépet aîné, en dix ans d'observations :

Le grand piston, 5 ans ;

Le petit piston, 4 ans ;

Tiroirs, de 6 à 8 ans. Après ce terme, il faut les remplacer et ajuster aux boîtes une table en acier.

Cylindre, un alézage tous les 10 ans ;

Barreaux de grille en fonte, minces et de bonne qualité, 2 ans.

Fourneau complet, 10 ans. Le foyer doit être regarni tous les ans avec grand soin, et en excellente brique réfractaire.

Bouilleurs et chaudières, 15, 20 et 30 ans ;

Garniture du piston du condenseur, 5 ans.

611. *Frais d'entretien et de conduite journalière pour une machine de 15 chevaux.* — Ainsi, les frais d'entretien de cette machine sont :

Petit piston, un quart de son prix coûtant,	fr. 100
Grand piston, un cinquième.	120
Ressorts des pistons, démontage, tiges à tourner,	100

Tiroirs, rodages,	60	
Parallélogramme, regrenetage, clavettes,	40	
Tuyaux, chaudronnerie,	60	
Condenseur, caoutchouc pour son piston, pompe alimentaire et à eau,	35	
Une demi-grille à changer,	50	
Grains, bouilleurs et autres pièces,	200	
Maçonnerie pour fourneau,	200	
Pelles et ringards,	12	
Total des frais de réparations et d'entretien,	fr. 977	
Frais journaliers par an :		
Suif, 1/2 kil. par jour, 150 kil.,	fr. 180	
Huile d'olive, 40 kil.,	100	
Chanvre, 25 kil.,	60	
Graisse pour les tourillons de l'arbre du volant,	}	
Soufre,		15
Plombagine,		
Mastic rouge, ou mastic de Serbat,	90	
Total des frais journaliers dans l'année,	fr. 445	

Genieys évalué à 100 fr. par cheval les frais de réparations et d'entretien des machines à vapeur; ce qui est à peu près exact.

612. *Dépense annuelle.* — Les frais annuels d'une machine de 15 chevaux, à deux cylindres, dans des mains expérimentées, ne doivent pas dépasser la somme portée au tableau page 34, la dépense de houille étant de 2 à 3 kil., terme moyen, par heure de travail effectif et *par cheval*.

Frais annuels d'une machine à basse pression.

613. *Consommation et frais d'une machine de 15 chevaux, à basse pression.* — Les deux machines sur lesquelles nous avons relevé les résultats qui suivent, que nous devons à M. Holcroft, sont de 35 chevaux chacune. Elles desservent la manufacture impériale des tabacs de Paris; l'une d'elles avait encore, en 1845, un piston garni en chanvre, et consommait 4 ou 5 fois plus de suif que l'autre machine, à laquelle on avait donné un piston à *segments métalliques*. La moyenne de dépense pour chaque année

a été de 20,440 hectolitres de houille, dont un tiers à peu près est employé aux chauffages et séchoirs de l'établissement. Reste donc 13,627 hectolitres à 80 kil. l'un, soit 10,902 quintaux métriques, qui, partagés entre 2,816 heures de travail effectif, donnent 389 kil. par heure, et 5 kil. 50 par cheval.

614. *Frais de conduite journalière.* — Les frais journaliers sont pour l'année :

Corde à piston,	kil. 36 à fr. 1,80 = fr. 64,80
Filasse,	32 à 2,50 = 80
Étoupes pour essuyer,	348 à 1,50 = 522
Huile de pied de bœuf,	1100 à 2,40 = 2640
Suif en branches,	1280 à 1 = 1280
Savon vert pour les dents,	540 à 1,20 = 648
Chiffons,	696 à 1,20 = 835,20
Mine de plomb,	240 à 0,60 = 144
Mastic et cêruse,	150
<hr/>	
Total des frais journaliers pour 70 chevaux,	fr. 6364,00

615. *Frais d'entretien.* — Quant aux frais d'entretien et de réparations, en les comptant avec les barreaux de deux larges grilles et avec deux énormes chaudières et deux fourneaux, à 3,000 fr. par an pour 70 chevaux, nous les compterons trop bas. La somme totale dépensée dans l'année par une machine de 15 chevaux à basse pression sera donc celle portée au tableau déjà cité.

616. *Dépense annuelle d'une machine sans condensation.* — Quant aux machines sans condensation, il faut porter les frais d'entretien et de réparations comme nous l'avons dit plus haut, et la dépense de houille de 3 k. 80 à 4 k. 50. Ainsi nous pouvons donner la dépense totale annuelle d'une machine de 15 chevaux de ce système, telle qu'elle est portée au tableau qui suit, avec la certitude d'être plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité.

Nous ne comptons rien pour la différence des pertes par chômages, entre ces trois systèmes de machines, parce qu'aujourd'hui cette différence est nulle.

617. Dépense annuelle comparative des trois principaux systèmes de machines à vapeur, pour une puissance de quinze chevaux.

NATURE DE LA DÉPENSE.	MACHINES A BASSE PRESSION de 15 CHEVAUX.		MACHINE SANS CONDENSATION de 15 CHEVAUX.		MACHINE A 2 CYLINDRES DE 15 CHEVAUX A GRANDE DÉTENTE.	
	5 k. 50 par heur. 3342 quint.mét.	13,368 fr. » 630 »	4 kil. par heure. 2430 quint.mét.	9,720 fr. » 1,000 »	2 kil. par heure. 1215 quint.mét.	4,860 fr. » 1,077 »
Houille pour 13 heur. 1/2 travail à 4 fr. les 100 kil. et 300 jours.	269 h. à 1 fr. »	269	150 k. à 1 fr. 20	180	150 k. à 1 fr. 20	180
Réparations et entretien.	231 » 40	482	40 » 50	100	40 » 50	100
Suif.	7 » 50	17 50	25 » 40	60	25 » 40	60
Huile d'olive ou de pied de bœuf. .	7 k. 60 1 80	13 70	» » »	» » »	» » »	» » »
Filasse pour boîtes.	73 1 50	109 50	» » »	» » »	» » »	» » »
Corde à piston	» » »	» » »	» » »	» » »	» » »	» » »
Étoupe commune pour essuyer, etc.	» » »	» » »	» » »	» » »	» » »	» » »
Graisse pour arbre du volant.	» » »	» » »	» » »	15 »	» » »	15 »
Soufre.	70 » 60	30	» » »	» » »	» » »	» » »
Plombagine.	33 1 20	87 50	» » »	25 »	» » »	25 »
Mine de plomb.	» » »	75 »	» » »	90 »	75 »	90 »
Cliffons ou déchets de coton.	113 » 60	67 80	» » »	» » »	» » »	» » »
Mastic rouge ou noir, ou cèruse. . .	» » »	1,200 »	» » »	1,200 »	» » »	1,200 »
Savon vert pour les dents d'engre- nages.	20,000 fr.	1,200 »	15,000 fr.	900 »	23,000 fr.	1,320 »
Chaufieur.	» » »	» » »	» » »	» » »	» » »	» » »
Intérêt du prix d'achat à 6 p. 100.	» » »	» » »	» » »	» » »	» » »	» » »
Total de la dépense annuelle.	17,550 »		13,290 fr. »		8,927 fr. »	

618. *Résultats comparatifs et choix entre les trois systèmes.* — Les dépenses de ces trois systèmes sont donc entre elles comme les nombres 6, 10 et 12. Avec de fortes machines, la différence à l'avantage des machines à deux cylindres serait beaucoup plus considérable, parce qu'une partie des frais ne varie pas, comme l'augmentation de puissance des machines, et que la dépense de combustible diminue beaucoup et se trouve réduite à 1 k. ou 1 k. 12.

Il résulte de cette comparaison, que là où la houille coûtera 10 ou 12 fr. pour 1,000 k. et au-dessous, on peut employer des machines à basse pression, bien que pour notre part, nous n'hésitions pas, même dans ce cas, à prendre la machine de Woolf ou des machines à haute pression sans condensation. Mais au-dessus de ce prix, et à moins que l'on ne manque d'eau, nous regardons comme une faute grave de prendre tout autre système que la machine à deux cylindres ou des machines horizontales à condensation, suivant les conditions de travail que nous avons posées plus haut, sous condition qu'on donnera des soins éclairés à ces machines, et surtout qu'on ne les surchargera pas : nous pouvons alors leur garantir une marche et un travail aussi actifs que réguliers.

Ces réflexions ont d'autant plus de poids, que chaque jour la construction des machines à condensation et à grande détente se perfectionne, le nombre des chauffeurs expérimentés se multiplie : mieux connues enfin, et mieux conduites, leur emploi devient aussi facile et aussi sûr que celui des machines à basse pression, sans leur enlever aucune de leurs qualités économiques qui, sous le rapport du combustible, ont encore fait des progrès remarquables par le perfectionnement des détentes variables.

Quant au danger d'explosion, l'expérience prouve qu'il est moins grand avec un genre de chaudières qu'avec l'autre ; nous avons traité cette question, en examinant les mesures par lesquelles on a réussi à écarter la plus grande partie de ces accidents (522).

619. *Des divers modes de construction. Machines avec ou sans*

balancier. — Il est inutile de nous arrêter sur tous les systèmes, ou plutôt sur les modes de construction des machines, que les mécaniciens compliquent souvent en croyant les simplifier et les améliorer; ils rentrent dans les grandes classes dont nous avons parlé, et sont appréciés d'après les mêmes principes, entretenus et conduits par la même méthode : toutes nos observations leur sont applicables.

Disons seulement un mot des principaux modes de construction indiqués par l'expérience. La plus grande différence qu'ils présentent est d'avoir ou de n'avoir pas de balancier.

Pour choisir entre ces deux genres de machines, il faut savoir que les frottements, les décompositions et destructions de force qui résultent de l'emploi d'un balancier court, ou d'une manivelle agissant sans balancier, sont très-grands; ainsi, en principe général, une machine doit toujours être munie d'un balancier, et la perte de force sera d'autant moins grande que le balancier sera plus long.

Mais dans les machines de petites dimensions, et dans beaucoup de cas, pour les grandes machines, la complication de pièces due à l'addition du balancier, et le grand emplacement qu'il exige, compensent les avantages dont nous parlons. Aussi nous employons des machines sans balancier ou avec des balanciers courts, au-dessous de dix chevaux; mais au-dessus, nous préférons les machines à balancier, comme plus faciles dans leurs mouvements et plus légères à conduire; à plus forte raison ont-elles des avantages dans les grandes forces, où les ajustements des autres systèmes se détériorent plus vite. Les machines à balancier résistent surtout bien mieux que les autres aux surcharges. Sur les steamers, où l'espace occupé par la machine doit nécessairement être réduit, on se sert avec succès de machines sans balancier ou avec des balanciers très-courts, parce que l'on sacrifie, en connaissance de cause, un avantage à un autre plus grand.

620. *Conduite et entretien des locomotives et des machines de bateaux.* — Cette question toute spéciale des locomotives a été traitée *ex professo* dans le *Guide du constructeur de locomotives*,

par MM. Lechatellier, Petiet, Polonceau et Flachet. Nous ne pourrions en présenter ici qu'un résumé, ce qui n'est pas dans notre but, et ce qui n'aurait aucune utilité. Nous avons réuni dans notre premier volume tout ce qui, dans cet ouvrage, peut servir de guide pour le choix des combustibles. Nous donnerons dans celui-ci des détails sur la meilleure construction de leurs pièces et sur les derniers perfectionnements dont elles ont été l'objet, pour faire apprécier l'état actuel de ces puissants appareils.

Quant aux machines des steamers, nous en ferons l'objet d'une étude spéciale et d'un chapitre à part, à la fin de ce second volume, comme nous avons consacré un article complet à leurs chaudières dans notre première partie.

621. *Des machines rotatives.* — Nous ne parlerons pas des machines à rotation directe; il est constant aujourd'hui qu'elles ne peuvent pas donner de bons résultats, par suite des grandes difficultés d'exécution, qui s'opposent à ce que leur cylindre et leur piston soient aussi bien construits que ceux d'une machine à vapeur dont la course est rectiligne; aussi n'a-t-on pas obtenu, par ce procédé, une seule machine qui ait fourni un travail suivi dans un atelier important.

C'est une pensée qui a occupé des hommes habiles, et qui a déjà été la source de grandes et inutiles dépenses. La seule qui ait jamais fonctionné avec quelque régularité, celle de M. Pecqueur, a donné de bons résultats comme effet utile; mais les difficultés de construction et de réparation l'ont fait entièrement abandonner.

M. E. Bourdon, qui a trouvé et amené à bien tant d'appareils nouveaux, et aussi ingénieux qu'utiles, s'occupe en ce moment de recherches qui, si elles réussissent, conduiront à une machine rotative très-simple, donnant une transformation directe et économique de la puissance de la vapeur en mouvement rotatif.

622. *Des machines oscillantes. Leurs qualités et leurs défauts.* — Construites pour la première fois par M. Cavé, ces machines, par leur simplicité et l'économie de leur construction et de leur prix, ont obtenu une grande faveur. A bord des steamers, le peu de

place qu'elles occupent, leur légèreté et la facilité avec laquelle on fait agir deux pistons à la fois sur l'arbre des roues, au moyen de deux manivelles placées à angle droit, et surtout l'économie de combustible qu'elles ont présentée sur les machines à basse pression, en ont fait obtenir des résultats remarquables. On les emploie souvent en Angleterre, sur les bateaux, en leur donnant trois cylindres oscillants, dont un sert de condenseur.

Nous dirons, cependant, que ces machines ne doivent pas soutenir de longues années de travail. Tout l'effort de résistance du cylindre est reporté sur deux tourillons mobiles et creux, tandis que la condition première d'une bonne machine est la solidité et l'inébranlable fixité des points d'appui, afin que les ajustements ne prennent pas un jeu qui entraîne leur prompt destruction ; l'effort constamment variable et oblique des tiges de piston occasionne des dérangements plus fréquents, une usure plus rapide, et une plus grande consommation de houille que dans les machines à haute pression, d'un autre système. Nous avons vu les guides plus d'une fois coupés, et les galets usés très-vite ; ces guides fixés par le bas, et libres du haut, manquent de solidité et tremblent. C'est là une cause constante de détérioration : l'usure des robinets est aussi assez prompte. Le rôle important qu'ont joué ces machines, employées très-souvent sur les steamers, nous impose l'obligation de donner un tracé de leur distribution de vapeur, en parlant des régulateurs.

623. *Machines oscillantes sur le pied du cylindre.* — M. Bérendorf a construit des machines oscillantes sur un principe différent qui leur donne plus de solidité ; elles oscillent sur un axe placé à la base du cylindre, et le cylindre se trouve au milieu d'un grand support creux, sur le haut duquel on place l'arbre du volant et la manivelle. Ces machines, bien exécutées, sont bonnes dans les petites forces.

Locomobiles.

624. *Machines montées sur roues dites locomobiles.* — Ce sys-

tème de moteurs doit avoir un nombre infini d'applications; ce sont des machines à vapeur analogues aux locomotives et portées sur des roues, mais disposées pour aller exécuter différents travaux sur place. Elles ont déjà des emplois très-utiles pour la construction des bâtiments, des ponts, les épuisements d'eau, le creusement des canaux, les grands terrassements, etc.; et il serait facile de leur appliquer des tire-sacs à courroies qui répondraient à tous les besoins que nous venons de signaler, et avec lesquels on pourrait monter ou descendre à volonté, transporter et mettre en place tous les matériaux nécessaires à la construction d'une maison et d'un pont, faire les épuisements, etc., etc.

625. *Des machines locomobiles de M. Calla.* — Nous devons à l'obligeance de M. Calla fils les plans de sa machine locomobile, qui est jusqu'à présent la meilleure de ce genre, et qui est construite avec beaucoup d'intelligence et d'étude : les soins de construction, la solidité et la simplicité de dispositions sont en effet d'autant plus nécessaires, qu'une machine est, comme celle-ci, exposée à des secousses et à des fatigues que n'éprouvent jamais les machines fixes.

Nous donnons, planche 31, l'élévation latérale et celle de face de cette locomobile.

Elle consiste principalement en une chaudière de locomotive, qui a près de 3 mètres de long, et une cheminée en tôle de 2^m,80 de longueur, s'abattant à charnière sur un support placé au-dessus du foyer, comme les cheminées des steamers. Le cylindre à vapeur est placé au-dessus et à droite de la chaudière, les robinets d'arrêt et la commande de la distribution de vapeur sont sur le devant, à la main du mécanicien.

La bielle, conduite par des guides à coulisses, commande un arbre à manivelle, monté sur l'arrière de la chaudière, et qui porte un volant large et lourd, servant en même temps de poulie pour transmettre le mouvement à toutes les machines ou appareils qu'on lui donne à commander.

Le système entier est porté sur quatre roues légères et solides, qui permettent de conduire l'appareil sur tout chemin passable-

ment dressé : à son arrière est un brancard pour y atteler un ou deux chevaux, destinés à la conduire à l'endroit où elle doit travailler. L'avant-train peut tourner sous la machine.

La pompe alimentaire et tous les organes de la machine sont faciles à visiter et à réparer, et un manomètre Bourdon est placé, avec les deux soupapes de sûreté, sous les yeux du mécanicien.

La chaudière est alimentée par un tuyau d'aspiration muni d'une pomme percée de trous. On accroche sous le tuyau un seau ou un tonneau rempli d'eau, quand on veut alimenter, soit en marchant, soit arrêté.

La machine que nous donnons a 6 chevaux de puissance et est réglée à 110 tours de vitesse normale par minute. La chaudière est timbrée à 6 atmosphères.

L'emploi des locomobiles dans les travaux publics, et surtout dans l'agriculture, a pris un immense développement, quoiqu'elles soient généralement encore un peu trop chères d'achat et trop pesantes, deux défauts qui seront facilement corrigés. Ce genre de machines à vapeur a été l'objet de dispositions spéciales précisées dans l'ordonnance royale du 22 mai 1843, et qui en facilitent l'adoption (t. I^{er}, p. 419). L'essai sous une pression double seulement du timbre pour les chaudières tubulaires, le droit d'interdiction pour les mauvais entretiens, sont très-sages. L'obligation d'une autorisation pour fonctionner à moins de 100 mètres des bâtiments est une condition qui doit être retirée, et qui est d'une exécution impossible.

626. *Conduite des locomobiles.* — Cette question est très-importante pour une machine à vapeur, forcément confiée à des ouvriers qui ne sont pas, comme les chauffeurs de presque toutes les machines à vapeur fixes chargés toute l'année, et spécialement de la conduite et de l'entretien de ces appareils. Dans une ferme où il y a une locomobile, par exemple, le travail de cet instrument est forcément interrompu une partie de l'année. Il faut donc que l'ouvrier qui le conduit fasse de plus un autre travail tout différent. Il y a d'ailleurs déjà des fermes qui ont des machines et des chaudières à vapeur employées à conduire

des féculeries ou des distilleries, et dont le travail ne dure que quelques mois dans l'année. La question de la conduite d'une machine par un ouvrier, utilisé toute l'année dans une ferme, est donc résolue depuis longtemps.

Le *mécanicien-chauffeur*, chargé de ce travail, doit être un homme intelligent, ordonné et accoutumé à la propreté. L'une des conditions les plus importantes, c'est qu'il aime le service qu'on lui confie et qu'il le fasse avec goût.

Dans tous les travaux que nous avons exécutés ou fait exécuter, nous avons été rarement satisfait des hommes qui avaient vieilli dans le métier de *chauffeur* : ils ont trop d'amour-propre, des habitudes prises depuis longtemps, ou, quand ils sont capables, ils ont des prétentions exagérées. Partout, nous choisissons, parmi les *manœuvres* qui ont travaillé à l'installation de nos appareils, un de ceux qui sont les plus rangés et les plus intelligents; nous lui montrons à chauffer, ce qui est bientôt appris, avec le désir de bien faire. C'est comme cela que, depuis trente ans, nous avons formé les meilleurs chauffeurs que nous ayons connus.

Nous donnons plus loin, dans la quatrième partie de cet ouvrage, tous les conseils et toutes les instructions nécessaires au chauffage, à la mise en marche, à la conduite et à l'arrêt d'une machine à vapeur fixe. Les instructions qui les complètent, et celles qui sont relatives à l'allumage, au nettoyage et à l'entretien de la machine à vapeur et de chacune de ses pièces, s'appliquent aussi bien aux locomobiles, qui en réalité ne diffèrent guère des machines fixes de petite puissance et horizontales.

Lors de l'allumage, on brûle un peu de paille au bas de la cheminée pour faire tirer les tubes. Il y a de plus à opérer le nettoyage des tubes de la chaudière, à l'aide d'une tringle de fer, à enfoncer les viroles des tubes au moyen d'un mandrin, et aussi les tampons de bois destinés à boucher les tubes qui viendraient à fuir.

En parlant des locomotives, nous reviendrons sur cette question spéciale.

Dans une ferme, le combustible à brûler est rarement de la houille; ce seront souvent des morceaux de mauvais bois, des souches. Nous disons aussi plus loin comment doivent être conduits les foyers au bois. Le chauffage avec des bois inférieurs ou passés demande plus de soins pour maintenir une pression régulière dans la chaudière. La chaudière, le soir, sera vidée avec précaution, soit quand la locomobile doit être conduite ailleurs, soit quand les eaux employées pour alimenter donnent beaucoup de dépôt.

627. *Dépense de combustible des locomobiles.* — Une locomobile de M. Calla, qui avait sept chevaux de puissance nominale, a donné, dans des expériences publiées au *Bulletin de la société d'encouragement* :

Avec la houille :	Travail effectif,	chev. 9,15
	Houille par heure et par cheval,	kil. 4,50
Avec le coke :	Travail effectif,	chev. 8,70
	Coke par heure et par cheval,	kil. 6,61
Avec le bois :	Travail effectif,	chev. 8,24
	Bois par heure et par cheval,	kil. 13,22

Eau évaporée par kilogramme de combustible.

Avec la houille,	lit. 5,48
Avec le coke,	4,65
Avec le bois,	2,58

On voit que la quantité de bois consumée a été 2 fois 92 le poids de la houille; ce qui tient à ce que le foyer, très-bien disposé pour le travail à la houille, ne l'était pas aussi avantageusement pour le travail au bois; aussi la pression, qui a été maintenue à 5 et à 5,50 atmosphères par la houille, et seulement à 5 par le coke, est tombée à 4 atm. avec le bois.

Machines du Cornouailles.

628. *Des chaudières.* — Nous avons renvoyé à l'article relatif aux machines du Cornouailles tout ce qui regarde leurs chaudières, parce qu'il est impossible d'en séparer l'examen et les résultats.

On trouvera pl. 42, fig. 167 et 168 du premier volume, les plans détaillés de ces chaudières; voici les dimensions de celles sur lesquelles Wicksteed a fait ses belles expériences, dans un des établissements hydrauliques des environs de Londres.

629. *Dimensions des deux systèmes de chaudières expérimentées par M. Wicksteed, à Oldfort. Chaudières du Cornouailles.*

Longueur des chaudières,	mèt.	8,510
Diamètre,		1,955
Longueur du tube à feu,		7,020
Diamètre id.,		1,160
Longueur du tube intérieur,		7,020
Diamètre id.,		0,555
Surface de chauffe - Chaudière n° 1,		74,60
Id. id. n° 2,		74,30
Id. id. n° 3,		74,70
Id. id. n° 4,		73,30
Eau contenue dans le n° 1,	mèt. c.	12,554
Vide pour la vapeur,		4,033
Grille : longueur,	mèt.	1,57
Id. largeur,		1,13
Id. surface totale,		4,78 ^{n° 3} / 35
Longueur développée des carneaux,		25,60
Surface de chauffe directe : n° 1,		3,07
Id., id. n° 2,		2,96
Id., id. n° 3,		2,94
Id., id. n° 4,		3,07

Les grilles des quatre chaudières sont presque égales.

630. *Chaudières à tombeau de Watt et Boulton.* — Ces chaudières sont de la forme ordinaire, mais avec un tube intérieur pour la fumée.

Longueur de la chaudière,	mèt.	7,36
Surface de chauffe totale,		54,70
Eau contenue,	mèt. c.	12,98
Vide pour la vapeur,		9,855
Grille : longueur,	mèt.	2,330
Id. largeur,		1,465
Id. surface totale,		3,40
Vide entre les barreaux de grille,		0,40
Longueur totale desdits carneaux,		23,80
Surface de chauffe directe,		3,75

Le volume occupé par l'eau dans ces chaudières et celui destiné à la vapeur ont été déterminés en pesant directement l'eau avec laquelle on les a remplis.

Depuis longtemps on cite comme extraordinaires les résultats obtenus avec les chaudières et les machines du Cornouailles, qui forment un système complet, auquel a été attaché ce nom spécial (*Cornish Boilers and Engines*). Leurs produits en vapeur s'élevaient, disait-on, quelquefois aussi haut que l'effet total à obtenir de l'unité de poids de la houille dans le calorimètre, c'est-à-dire au maximum théorique d'effet utile du combustible, sans rien compter pour la perte de chaleur nécessaire au volume d'air, en partie brûlé, qu'emporte la cheminée. De tels produits devaient inspirer de la défiance, et, pour notre part, nous n'avons pas cessé d'être convaincus qu'il y avait là des éléments de calculs dont on ne tenait pas compte.

Les rapports publiés par des ingénieurs intéressés au succès de ce système, les travaux mêmes de plusieurs hommes de talent, comme Josiah-Parke, n'ont jeté aucun jour sur la question, car tous donnent de nombreux résultats, et aucun ne publie les éléments des expériences où il les a puisés, ni les méthodes de calculs adoptées et sans lesquelles il est impossible de rien vérifier et de rien discuter; on ne trouve pas, dans ces mémoires, les résultats complets d'une seule observation. D'autres expériences ont été faites depuis en France, où plusieurs savants ont étudié et soumis au calcul la théorie et les effets de ces machines.

631. *Expériences de Wicksteed.* — Le premier travail qui ait éclairé la question, sous le rapport des résultats, est celui de Thomas Wicksteed, ingénieur d'une machine hydraulique établie à Oldfort, près Londres, et qui dirige dans le même établissement une machine de Watt et une machine du Cornouailles, toutes deux d'une grande puissance, à simple effet, et employées à élever de l'eau.

Ce travail si simple, si modeste, et en même temps si précis, fait avec la méthode des savants et des ingénieurs français, contient de nombreuses expériences, parfaitement nettes, et sur

une grande échelle, plus de 300 heures de travail, et destinées à comparer les chaudières et les machines de Watt à celles du Cornouailles : tous les éléments des calculs et leurs bases y sont exposés méthodiquement, et les résultats les plus exacts, les mieux constatés sur la consommation et les produits des machines du Cornouailles s'y trouvent discutés à fond. Des corrections graves sont ainsi apportées aux faits jusque-là connus sur ces machines. De ce travail découlent des conséquences remarquables, que nous n'avons vues nulle part, et qui rentrent complètement dans les idées que nous avons toujours eues.

632. *Produits des chaudières à basse pression, et de celles du Cornouailles à dimensions égales.* — Les grandes chaudières de Watt et Boulton donnent un produit en vapeur très-rapproché de celui des chaudières du Cornouailles, c'est-à-dire, suivant Wicksteed, en travaillant jour et nuit et couvertes, 8,160 k. pour 1 de bonne houille, quand les dernières donnent de 8,30 à 8,50 : les produits sont donc à peu près les mêmes, et Wicksteed a raison de dire que depuis Watt peu d'importants perfectionnements ont été apportés au travail de son générateur, puisque la principale cause de ces beaux résultats se trouve dans les vastes dimensions des chaudières.

Il est vrai que, dans les chaudières du Cornouailles, la vapeur est produite avec pression, et sans pression dans celles à tombeau de Watt; mais la production en plus, due à la différence entre la température de la vapeur à 1 atmosphère $1/2$, soit à 112° , et celle de la vapeur à 4 atmosphères, soit à 144° , est presque nulle, si les dispositions des chaudières du Cornouailles sont bien étudiées et bonnes, quoique très-compliquées. Il est prouvé d'ailleurs que leurs produits ne sont que peu au-dessus des autres systèmes de chaudières, quand on donne à ces dernières les dimensions colossales de celles du Cornouailles. L'expérience montre, en effet, que l'on obtient avec les grandes chaudières des produits en vapeur beaucoup plus considérables qu'avec les petites, ce qui est évident pour les vastes chaudières d'évaporation de sel à Dieuze; et, suivant nous, la cause principale de la supériorité

des chaudières du **Cornouailles** sur les autres générateurs le plus fréquemment employés est dans leurs dimensions.

Quant au produit de 1 k. de houille en vapeur, que l'on avait porté jusqu'à 10 et 11 k. dans les expériences imprimées plus d'une fois, Wicksteed a trouvé que les chaudières du système du Cornouailles, travaillant jour et nuit, et sur plusieurs milliers de livres de houille, en pesant et jaugeant rigoureusement toute l'eau employée à les alimenter, évaporaient 8,65 d'eau avec la meilleure houille, et 8,228 en moyenne, mais en prenant l'eau à 80° Fahrenheit, c'est-à-dire à 26°, 9 centigrades.

633. *Tableaux de Wicksteed sur la puissance comparative d'évaporation des diverses houilles.* — Pour que l'on puisse juger avec quels soins et sur quelle échelle ces expériences ont été faites, nous donnons trois tableaux où leurs principaux résultats sont réunis et traduits en mesures françaises.

634. TABLEAU N° 1.

Produit d'un grand nombre de qualités de houilles.

	Quantité	Eau évaporée
	brûlée.	par 1 k. de houille.
	kil.	lit.
<i>Houilles de Galles.</i>		
Pentre : tout venant.	44624	7,514
Id. criblée (très-employée).	2627	8,709
Eaglebush : tout venant.	138631	7,155
Id. criblée (très-employée).	2742	8,562
Id. id. (peu employée).	2894	7,606
Pentre et Eaglebush par moitié : tout venant.	9023	7,960
Llangyneck en gros morceaux.	5078	7,637
Grozigola, id.	5142	7,499
Llaeally, id.	4358	7,436
Oackwood bitumineux.	14447	7,963
Merthyr en gros morceaux.	13444	9,493
Anthracite.	6271	9,014
Moyenne des précédentes.		8,045
<i>Houilles de Newcastle.</i>		
Bradley en morceaux.	143430	7,980
Id tamisée	2666	8,443
Adair, en morceaux.	29631	7,135
Wallridge, id.	55072	7,076
Moyenne des précédentes.		7,658
<i>Houilles de Newcastle et du Cornouailles mêlées.</i>		
Bradley-Main, 1/2 ; Eaglebush, 1/2.	20261	8,252
Bradley-Main tamisée, 1/2 ; Eaglebush tamisée, 1/2	2934	8,034
Bradley-Main menue, 1/2 ; Eaglebush tamisée, 1/2.	3656	8,063
Bradley-Main en gros morceaux, 2/3 ; Eaglebush menue, 1/3.	3009	7,654
Wallridge menue, 1/2 ; Pentre gros, 1/2	5522	7,323
Moyenne des précédentes.		7,865
<i>Newcastle.</i>		
Petit Newcastle.	171918	7,678
Id.	73264	8,524
Id.	43100	8,137
Id.	18229	7,958
Moyenne des précédentes.		8,074
<i>Diverses sortes.</i>		
Blythe-Main (Northumberland).	11767	6,600
Staveley-Main (Derbyshire).	7528	6,772
Staveley-Main, 1/2 ; petit Newcastle, 1/2.	12505	7,710
Coke de la British gaz Company.	1473	7,908
Coke de la British gaz Company, 2/3 ; petit Newcastle, 1/3.	4938	7,897
Coke de la British gaz Company, 1/2 ; petit Newcastle, 1/2.	3514	7,557

La seule condition imposée dans ces fournitures de houilles était que les houilles livrées fussent de la première qualité, chacune dans leur nature.

635. TABLEAU N° 2.

Puissance d'évaporation des trois sortes de houilles, toute la quantité brûlée étant supposée combustible.

NATURE DU COMBUSTIBLE.	Quantité entière brûlée.	Résidu de la combustion.	Matière combustible pure.	Proportion du résidu pour 100.	Eau évaporée par kilo- gramme de matière combustible.
	kil.	kil.	kil.	kil.	lit.
Moyenne du petit Newcastle.	33896	2013	31883	5,94	8,553
Blythe-Main (Northumberland).	6186	557	5629	9	7,194
Anthracite.	5393	486	4907	9	9,825

636. TABLEAU N° 3.

Quantité évaporée par rapport à la température de l'eau d'alimentation.

Pression dans la chaudière.	Température de la vapeur.	Température de l'eau d'alimentation.	Eau évaporée.	Houille brûlée.	Produit de 1 kilogramme de houille, en partant de la température d'alimentation.	Produit de 1 kilog. de houille, avec de l'eau à 0 degré.
atmosph.	degrés.	degrés	kd.	kil.	lit.	lit.
3,60	140,60	20,80	276247	34172	8,084	7,841
2,85	131,3	23	112733	14150	7,967	7,648
2,72	130,60	21	169606	21402	7,925	7,687
2,33	126,80	21,60	178748	22987	7,776	7,465
2,04	121	21,40	172655	21429	8,048	7,726
Moyenne.						7,673

Ce produit de 7 k. 673 est à peu près celui des chaudières de M. Farcot et de toutes les chaudières à grande surface de chauffe et très-longues; toute la question est donc là, et non pas dans la forme même des chaudières du Cornouailles.

637. *Résultats des chaudières à combustion rapide ou lente.* — Les chaudières expérimentées par Wicksteed brûlent par heure :

Chaudières de Watt.

Houille brûlée par heure en petit Newcastle,	kil. 184,50
Eau évaporée par heure,	lit. 1540
Houille par heure et par mètre carré de grille,	kil. 53,80
Eau par heure et par mètre carré de surface de chauffe,	lit. 28,10
Produit de 1 kil. de houille,	8,35

Chaudières cylindriques chauffées à combustion rapide.

Houille par heure et par mètre carré de grille,	kil. 22,70
Vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe,	44,96
Produit en vapeur de 1 kil. de houille,	8,55

Mêmes chaudières à combustion lente.

Houille par heure et par mètre carré de grille,	kil. 13,58
Vapeur par mètre carré de chauffe,	24,26
Produit en vapeur de 1 kil. de houille,	8,42

Le produit en vapeur avec la combustion rapide ou avec la combustion lente est à peu près le même; mais, avec la combustion rapide, le poids d'eau évaporée par heure et par mètre carré de chauffe est double du produit de la combustion lente. Il y a donc une économie de moitié sur les frais d'établissement des chaudières et des fourneaux, à produit égal en vapeur, en adoptant la proportion la plus grande de houille brûlée par rapport à la grille.

C'est du reste le principe adopté par presque tous les constructeurs en France, où l'on ne brûle jamais moins de 50 ou 60 k. par mètre carré de grille, et jusqu'à 80 k. par heure, avec de très-bons résultats, quand on donne, comme nous l'avons dit, aux chaudières des surfaces suffisantes et des bouilleurs d'alimentation longs et de grand diamètre. D'après les observations de Wick-

stead, en enveloppant avec soin les chaudières et les tuyaux de vapeur, on obtient une économie de plus d'un dixième de la houille brûlée.

Le travail non interrompu de jour et de nuit est aussi plus économique, comme produit en vapeur, que le travail de jour seulement.

Les pressions dans les limites où Wicksteed les fait varier, de 2 atmosphères à 3 atmosphères 50, ne paraissent pas exercer une influence notable sur le produit de la houille en vapeur; mais entre la vapeur produite à 1 atmosphère ou à 100°, et celle produite à 6 atmosphères ou à 159°, 22, il doit certainement y avoir une différence en moins, qui doit être appréciable.

638. *Corrections à faire aux résultats du Cornouailles.* — Wicksteed a dit aussi que dans l'expérience la plus positive que l'on ait faite sur les générateurs du Cornouailles, 1 de houille évaporait 9,335 d'eau, mais d'eau prise à 102° Fahrenheit ou à 39° centigrades.

Il y a une correction grave à faire à ces résultats pour les rendre comparables avec la manière de calculer en France, où l'on prend l'eau à évaporer non pas à 39, mais à 12°, température des puits. Or, personne ne nous avait appris encore que quand on comptait 9 k. d'eau évaporée par 1 de houille dans le Cornouailles, c'était de l'eau déjà chauffée à 39°, et non pas de l'eau à la température des puits.

Les résultats deviennent ainsi :

Pour les chaudières de Wicksteed,	8,020
Pour les chaudières du Cornouailles,	9,100

Ce dernier chiffre demande encore une correction : c'est la différence entre le cube réel d'eau monté par coup de pompe, et le volume théorique engendré par chaque coup de piston, et en sus la correction due aux variations de course du piston de la pompe alimentaire. Dans les expériences du Cornouailles, l'eau évaporée est mesurée par le nombre de coups de piston de la pompe alimentaire, son diamètre et sa course théoriques. Wick-

steed a trouvé, par expérience, ces réductions égales à 3,33 pour cent, ce qui ramène le produit en vapeur à 8,797.

Il y aurait encore là une autre correction à faire : MM. Combes et de Pambour ont constaté, en relevant les courbes des pressions successives dans le cylindre des machines du Cornouailles, qu'il y avait de l'eau emportée liquide, par suite de la petitesse de l'espace libre laissé à la vapeur dans ce système de chaudière ; mais comme toute cette eau paraît être évaporée par le travail de la détente et la chaleur de la chemise, nous regardons l'évaporation nette comme égale à l'évaporation brute.

Une dernière cause augmente encore le produit trouvé pour les chaudières du Cornouailles. Les essais faits dans les mines étant destinés à être publiés, on a choisi pour ce travail la première qualité de charbon. Or, Wicksteed a constaté que le meilleur charbon de Galles, employé dans le Cornouailles, donnait 10 pour cent de plus de vapeur que la meilleure houille de Newcastle.

639. *Résultats réels.* — De ce qui précède il résulte que le produit des chaudières du Cornouailles, réputé merveilleux et hors de toute limite connue, est en réalité, quand on n'emploie pas des qualités extraordinaires de houille, de 8,25 de vapeur pour 1 de houille. Dans les petites chaudières les mieux montées, MM. Gros-Davillers, Roman et C^e ont obtenu 6,50, et M. Séguier 7 au plus ; mais cette différence est due aux puissantes dimensions des chaudières, aux soins avec lesquels elles sont enveloppées, et non pas au système, puisque avec d'autres systèmes et des dimensions, et des soins pareils, on a obtenu le même produit.

Le système de *combustion lente* des chaudières du Cornouailles, auquel on attribuait des résultats fabuleux, en donne de moins avantageux que la combustion vive, comme nous l'avons toujours professé : les expériences catégoriques de Wicksteed le prouvent. Il a obtenu avec la même chaudière, sur plus de 500 heures de travail avec la combustion lente, 4 pour cent de vapeur de moins qu'avec une combustion vive, en doublant seu-

lement la quantité brûlée à l'heure par mètre carré de grille. Il a constaté enfin que l'on obtenait un moins bon résultat utile en faisant descendre les quantités brûlées et évaporées à leur minimum, ce qui est depuis longtemps connu.

Les chaudières du Cornouailles (*pl.* 42, *fig.* 167 et 168 du premier volume) consistent en un énorme cylindre de 2^m,35 de diamètre, et 12 ou 15 mètres de longueur, ayant un vaste foyer intérieur de 1^m,30 de diamètre. La flamme parcourt toute la longueur de ce tuyau intérieur, revient par-dessous la chaudière, et retourne à la cheminée par deux carreaux latéraux. La partie supérieure de la chaudière est soigneusement enveloppée de briques; la grille a 1 mètre carré pour 30 k. de houille brûlée environ et pour 44 mètres carrés de surface de chauffe, ce qui donne 6 k., 20 d'eau évaporée par 1 mètre carré de chauffe. Enfin, il y a un bouilleur alimentaire de même longueur que la chaudière, et de 0^m,75 au moins de diamètre, sur lequel la fumée court deux fois par-dessus d'abord, et par-dessous ensuite, avant de se rendre dans la cheminée générale.

640. *Des machines à vapeur du Cornouailles.* — Ces machines, toutes de puissantes dimensions, et qui ont des cylindres de 2^m,30 à 2^m,60 de diamètre, et 3^m,20 et plus de course de piston, sont à simple effet, lorsqu'elles sont employées aux épuisements des mines et au pompage des eaux : la vapeur n'agit que d'un seul côté du piston, et par-dessus, pour l'abaisser et soulever ainsi, au moyen du balancier, le contre-poids et les trains de pompe, qui, par leur poids, font descendre le piston plongeur et monter les eaux qu'il refoule.

Dans une province où la houille n'est pas à aussi bon marché que dans le reste de l'Angleterre, et où l'extrême profondeur des mines occasionne des frais considérables d'épuisement, ces machines, remarquables par leurs dimensions et leur puissance, ont fait sortir les constructeurs anglais de l'emploi exclusif des basses pressions de Watt, pour adopter la moyenne pression avec de grandes détentes, et atteindre ainsi un haut degré de perfection et d'économie.

Des observations faites en grand, des rapports fréquemment publiés sur leurs produits, et des résultats, hors de la limite du travail réalisé jusque-là par les autres moteurs, leur ont donné une immense renommée. Ces résultats ont été l'objet de nombreux débats, desquels la vérité n'a pas pu sortir, plus que pour leurs chaudières, parce que jamais les éléments complets des observations et des calculs n'ont été imprimés. T. Wicksteed a porté le premier la lumière et les preuves de ses expériences méthodiques et loyales sur des faits si controversés.

641. *Principes de ces machines.* — Les principes sur lesquels reposent la construction de ces machines et la supériorité de travail qu'elles donnent sont :

1° Des chaudières de dimensions colossales, avec de très-grandes surfaces de chauffe, trois ou quatre fois plus grandes que dans les machines ordinaires ; chaudières qui, comme nous l'avons dit, donnent 8,25 au moins de vapeur pour 1 de houille ;

2° L'emploi de la vapeur à 3 ou 4 atmosphères et avec des détenteurs considérables, que l'on porte souvent à plus de vingt fois le volume primitif de la vapeur, et que l'on varie en raison du travail que les machines ont à faire ;

3° De larges soupapes d'admission et d'émission, ouvertes instantanément ;

4° L'espace perdu au-dessus du piston réduit à sa moindre limite, soit $1/20^e$ du volume de chaque coup de piston ;

5° L'introduction de la vapeur à haute pression dans la chemise qui enveloppe le cylindre, introduction qui donne une économie remarquable de combustible, et qui met en vapeur et utilise au travail toute l'eau emportée liquide par la vapeur ;

6° Des précautions infinies pour éviter les pertes de chaleur par le fourneau, pour envelopper complètement les tuyaux d'amenée, le cylindre, etc., et les diverses parties de la machine ;

7° Une grande solidité dans les pièces et une rare perfection de construction et de montage.

Ce sont là les véritables principes de construction des machines à vapeur les plus économiques. Aussi celles du Cornouailles

sont-elles les premières des machines d'épuisement. Mais sont-elles les premières en date qui soient entrées dans cette voie? Sont-elles au-dessus de tous les autres systèmes de machines, comme on le prétend, et leurs résultats sont-ils hors de toute limite connue? C'est ce qui ne nous paraît pas exact.

642. *Machines à double effet, système Cornouailles.* — Ce système d'abord ne peut être employé avec toute sa puissance que pour les épuisements et l'élévation de l'eau, et à simple effet. En France, plusieurs constructeurs ont voulu l'appliquer au service des forges, en le mettant à double effet, avec des détentes que l'on avait portées à dix, etc. : ils ont été écrasés par les procès intentés pour les mauvais résultats obtenus, malgré une grande perfection dans la construction.

Nous l'avons dit, quand le piston commence à remonter, ces machines donnent une secousse violente, que rien ne peut arrêter, et qui est due à l'énorme effort transmis au piston dans le premier instant de la course. Avec des détentes de 1 à 8, pour avoir en somme un travail de 60 chevaux, pendant toute la course, le piston reçoit un effort de plus de 100 chevaux avec le travail à pleine charge, c'est-à-dire pendant un huitième de sa course, et il transmet cet effort à sa tige, au balancier et à toutes les pièces de la machine, qui ne sont pas préparées pour supporter 110 ou 120 chevaux de force. Il en résulte ou des ruptures ou des détériorations rapides, et surtout des flexions considérables par un trop grand effort et par le passage instantané d'un travail de 12 ou 15 chevaux au plus à la fin de la détente, à 110 ou 120 chevaux au commencement de la course suivante.

Cette secousse n'a pas lieu au passage supérieur des pistons.

A simple effet, avec le système du Cornouailles, la secousse ne se peut pas produire : c'est par-dessus que la vapeur est introduite; et elle trouve, non pas un piston entraîné d'une manière continue par un volant et des appareils en mouvement, mais une machine arrêtée, après qu'elle a remonté le piston. Son effort n'est pas brusque : il lui faut un certain temps pour exercer toute

sa pression et déterminer le mouvement d'un système fort lourd.

Dans le Cornouailles, on emploie quelquefois des machines à double effet comme celles dont nous parlons ; mais on se garde bien de détendre la vapeur de plus d'un tiers de son volume primitif. Nous avons déjà dit que les machines à un cylindre vertical et à grande détente de M. Farcot étaient à peu près de ce système.

Nous avons montré à quels travaux ces machines s'appliquaient le mieux, et pour quelles industries il fallait préférer la parfaite régularité des machines de Woolf.

Les maîtres de forge, ou les manufacturiers, doivent donc bien se garder de choisir ce système pour de grands travaux avec des machines à double effet ; nous montrerons tout à l'heure qu'il n'y a même pas nécessité de l'adopter pour obtenir l'économie de combustible qu'il donne. Il est un autre système qui possède au plus haut degré les qualités que donnent les grandes détentes à double effet, sans en avoir les inconvénients : ce sont les machines à deux cylindres, et nous avons appris que l'on commence à en construire dans le Cornouailles. C'est certainement une nouvelle source de perfectionnement et d'économie que de détendre et de condenser dans un second cylindre.

643. *Résultats réels des machines du Cornouailles.* — Quels sont les résultats réels du système du Cornouailles ?

Dans des expériences, souvent citées, faites sur des durées de six mois de travail par les ingénieurs du Cornouailles, l'effet utile donné par le quintal anglais de houille a été à Fowey-Cousols de 130,248,384 livres élevées à 1 pied ou 35,439,698 kilogr., élevés à 1 mètre, avec 100 kilogr. de houille : et pour Holmbush de 122,376,128 livres à 1 pied, ou 33,316,502 kilogrammes élevés à 1 mètre ; mais dans les expériences faites par Wicksteed sur la machine du Cornouailles qui sert à élever les eaux à Oldfort, près Londres, cet effet a été seulement sur 3,400 heures de travail de 97,146,268 livres à 1 pied ou 26,447,756 kilogrammètres par quintal métrique de houille, en employant du petit charbon de Newcastle. Des expériences faites sur le meil-

leur charbon de Galles que l'on emploie en Cornouailles lui ont appris que le dernier donnait onze pour cent de vapeur de plus que le premier. Avec la meilleure houille de Galles, l'effet utile obtenu par Wicksteed aurait donc été de 108,198,102 livres ou 29,357,009 kmt. Il est certain, en effet, que les expériences du Cornouailles étant faites pour être publiées dans l'intérêt des ingénieurs et des constructeurs, on y a employé la meilleure qualité de houille.

Wicksteed nous donne avec tous les détails, avec toutes les preuves, les causes de ces différences de résultats : la conséquence nécessaire est que ses expériences seules sont exactes, et que celles des ingénieurs du Cornouailles ne le sont pas.

644. Résumons les causes principales d'erreurs.

La houille employée a été constamment mesurée comme on mesure sur la mine même, et convertie en *buschels*. Or, dans les expériences, on a estimé le buschel à 94 livres, et un des ingénieurs du Cornouailles a déclaré par écrit, à Wicksteed, que le poids du buschel variait de 80 à 112 livres; nous le répétons, dans des expériences destinées à servir de prospectus, on a pris certainement les plus fortes mesures.

Ainsi que nous l'avons prouvé en parlant des chaudières, la quantité de vapeur produite n'est pas de 9 ou 10, produit trouvé par M. West, en mesurant l'eau prise à 39° de température par les coups de piston, et par leur pleine course, procédé où Wicksteed a reconnu des erreurs de 10 pour cent; mais elle est seulement de 8,25 pour cent, prise à la température des puits, comme on doit le faire dans des calculs rigoureux.

645. *Diminution annuelle du rendement de ces machines.* — Une autre cause plus grave d'erreurs dans l'appréciation de leurs résultats, comparativement à ceux des autres machines, c'est que toutes les grandes expériences citées plus haut ont été faites sur des machines nouvellement montées, et plus fortes nécessairement de beaucoup que le travail qu'elles avaient à faire dans le moment. Dans les puits de mines, à mesure qu'ils s'enfoncent, la quantité d'eau augmente en même temps que la profon-

deur d'où on l'extrait, double cause d'accroissement dans la puissance dépensée.

Ainsi, au moment des essais, les machines n'ayant souvent pas le quart ou même le dixième de leur charge totale, on leur donne des détentees énormes, de 1 à 30, par exemple, et on obtient un effet utile très-grand, qui n'est pas l'effet utile réel de la machine à sa charge de règle, et qui, pour être obtenu constamment avec son économie de combustible, exigerait, comme l'observe très-judicieusement T. Wicksteed, des dépenses en capital de machines bien supérieures à l'économie de houille à réaliser. Aussi a-t-on partout reconnu dans le Cornouailles que l'effet utile des machines diminuait tous les ans, ce qui est dû à l'augmentation de leur charge et à la réduction forcée de la détente.

On verra tout à l'heure qu'il en est de même avec les machines à simple effet, employées en France à élever l'eau, pour la ville de Paris et celle de Lyon. La consommation d'eau augmentant tous les jours, la détente est forcément réduite, et la dépense de combustible augmentée.

646. *Effets de la détente.* — Les expériences de Wicksteed prouvent aussi que l'effet utile augmente avec la détente : sur sa machine du Cornouailles il a obtenu avec de la vapeur à 2,15 atmosphères, ou 122°,23 de température, et une détente de 1 à 1,66, un effet utile de 21385220 kilogrammètres; et avec de la vapeur à 3,50 atmosphères, ou 140° de température, et une détente de 1 à 3,20. — 29462343 kmt.; sans détente elle aurait donné seulement 13149397 kmt. avec de la vapeur à 104° centig., ou 1,20 atmosphère.

Le tout avec 100 kil. du meilleur charbon de Galles : la charge constante des machines à simple effet ne permettait pas de les essayer avec des détentees et un travail variables, et une même pression de vapeur dans la chaudière.

Ainsi, le produit réel des machines du Cornouailles, essayées avec leur pleine charge, comme l'a fait T. Wicksteed, à Londres, est seulement, avec la meilleure houille du pays de

Galles, de 29357009; la machine de Watt et Boulton dans les mêmes conditions de travail, avec de la vapeur à 105° 56 c. de température, ou 1,25 atmosphère, et une détente de 1, à 1,58, a donné 12993934 : c'est-à-dire que la machine du Cornouailles a donné 2,25 fois le travail de la machine de Watt et Boulton : résultat dû, non pas aux chaudières, dont les vaporisations sont à peu près les mêmes, mais presque en totalité à l'action de la haute pression et d'une grande détente.

647. *Comparaison des résultats du Cornouailles avec ceux des machines de Woolf.* — Tels sont donc les résultats réels des machines du Cornouailles, comparées à celles à basse pression de Watt et Boulton, qu'ils dépassent de plus du double; mais quels sont-ils comparativement aux systèmes de machines les plus perfectionnés, c'est-à-dire par rapport aux machines de Woolf à deux cylindres, à moyenne pression et à grande détente? Jamais aucune expérience n'a été faite pour obtenir cette comparaison, que personne, avant nous, n'avait étudiée.

A défaut d'expériences directes, les comparaisons faites plus haut, avec tant de rigueur, entre une machine de Watt et Boulton et celle du Cornouailles, et celle si souvent répétée des produits des machines de Watt avec celles à deux cylindres, nous donneront avec certitude le résultat que nous cherchons.

Tout le monde sait que les machines à basse pression de Watt, en Angleterre, comme en Belgique et en France, brûlent 6 et 7 kilogr. de houille par cheval et par heure. Mais si l'on calcule par les formules de M. Poncelet la puissance réelle développée par la machine de Watt et Boulton, dans l'expérience du tableau de Wicksteed, on trouve un produit brut de 5980 kilogrammètres qui, à raison de 60 pour cent de rendement utile, rapport que l'on doit adopter avec ces dimensions et ces dispositions de machines, donnent un peu plus de 47 chevaux, et une consommation de 4 kil. par cheval et par heure.

648. Or, il est reconnu aujourd'hui que les bonnes machines à deux cylindres, avec des chaudières bien proportionnées, et

dans les forces au-dessus de 25 chevaux, ne brûlent que 1 k. 1/2 par cheval et par heure au plus.

Nous avons prouvé plus haut que les deux machines de 45 chevaux, de MM. Windsor et C^r, que nous avons montées pour alimenter d'eau la ville de Nantes, ne brûlent que 1 k. 20 par cheval et par heure. Ainsi, les machines de Woolf de grandes dimensions donnent un effet utile triple de celui des machines de Watt. Si, de plus, nous remarquons que les chaudières donnent d'autant plus de produit proportionnel qu'elles sont plus grandes, et que toutes celles que nous employons, jusqu'à 30 chevaux, donnent au plus 7 de vapeur, quand les énormes chaudières du Cornouailles produisent 8 k. indépendamment de toute qualité de la machine, il sera évident que les machines à deux cylindres rendent toujours, à dimensions égales, au moins autant d'effet utile que celles du Cornouailles, si elles ne rendent pas plus, la différence de complication des pièces étant compensée par des détentes plus grandes qu'on ne peut les donner à pleine charge aux dernières : le mouvement y est aussi beaucoup plus régulier, et on a l'avantage de détendre dans un cylindre séparé.

649. *Révolution opérée par Woolf dans les machines à vapeur de Watt.* — Watt a créé la machine à vapeur à double effet, à condensation et à rotation. Après lui, c'est Woolf, dont la machine a subi à peine quelques améliorations de détail, qui a opéré d'un seul coup la plus grande révolution que cet instrument ait éprouvée depuis Watt, pour obtenir la plus grande économie avec la plus grande régularité de mouvement connue, au moyen de la combinaison si heureuse de la haute pression et d'une grande détente, portée aujourd'hui de 1 à 25, et opérée dans un cylindre différent, et avec le passage de la vapeur dans une chemise qui enveloppe le cylindre. C'est ce système que les ingénieurs du Cornouailles ont pris pour l'appliquer, avec un grand talent, à leur service, l'épuisement des mines, mais sans rendre à son véritable auteur la justice qui lui est due.

Machines à vapeur, système du Cornouailles, établies pour fournir de l'eau à la ville de Paris et à la ville de Lyon.

650. *Machines de Paris.* — Nous avons en France plusieurs de ces machines à simple effet du système du Cornouailles d'une grande force, qui sont employées à monter de l'eau pour des villes très-importantes. Il y en a deux à Paris, à l'établissement municipal de Chaillot, montées depuis 1850, et qui ont 180 chevaux de puissance nominale, et trois à Lyon, de 170 chevaux chacune. Voici leurs principales dimensions, le travail qu'elles donnent, et leur consommation de combustible :

Diamètre du piston à eau,	mèt. 1,050
Course aujourd'hui,	2,300
Longueur du balancier,	»
Diamètre du cylindre à vapeur,	1,809
La course est égale à celle du piston à eau,	2,30
Pression moyenne dans les chaudières en 1857,	»
Nombre moyen de coups de piston par minute en 1857,	coups 6,800
Quant au travail utile, le volume moyen d'eau montée par jour	
a été dans la même année de	mèt. c. 12,393
Soit par seconde,	0,143
La hauteur moyenne d'élevation a été de	mèt. 46,50
Les eaux sont refoulées par une colonne de tuyaux de	600
Et de diamètre,	0,60
En ajoutant à la hauteur d'élevation, pour la perte de charge due	
à la colonne montante, celle donnée par la table des frottements et pour celle des valves, des clapets, des coudes, une	
hauteur de	2,50
La charge totale en 1857 devient de	49
Et le travail de la machine de	kmt. 7007
Ou en chevaux-vapeur,	chev. 93,40
Dépense de houille par jour moyen en 1857,	kil. 6761
Soit par heure,	282
Ce qui donne pour les 93,40 chevaux, houille par cheval et par	
heure,	3,019
Le volume maximum d'eau montée en 24 heures par une de ces	
machines, qui se relayent réciproquement, est de	mèt. c. 20000
Soit par seconde,	0,231

Hauteur réelle d'ascension,	mèt. 46,50
Portée par les résistances de la colonne d'ascension à	49
Travail utile, pour 20000 mètres,	kmt. 11019
Ou chevaux-vapeur,	151
En calculant la houille dépensée par mètre cube d'eau montée	
à 46,50 mètres en 1857, on trouve	kil. 0,545
Qui, pour 20000 mètres cubes par jour et 151 chevaux de puis-	
sance dépensée, donnent par cheval et par heure	3,007
Avec une course de 2,30, cube théorique du piston à eau,	mèt. c. 1,992
Cube réel d'eau montée par coup de piston,	1,920
Perte,	4 0/0

Il y a cinq chaudières à vapeur de M. Farcot, à grande surface, à bouilleurs intermédiaires, avec la fumée qui descend en sens contraire de l'eau d'alimentation et les tuyaux de vapeur parfaitement enveloppés. Ces chaudières donnent, par kilogramme de bonne houille :

Vapeur, kil. 7

Le volume de 20,000 mètres cubes par 24 heures correspond, par minute, à 7,20 coups de piston, ce qui est, en effet, le nombre normal des coups.

On voit que chacune de ces machines peut largement suffire, par jour, à un service de 24,000 mètres cubes, avec quelques coups de piston de plus.

651. *Machines de Lyon.* — Ces machines sont sorties, comme celles de Paris, des grands et beaux ateliers du Creusot; elles fonctionnent depuis trois ans environ.

Le service de Lyon est fait par trois machines de 170 chevaux chacune. La première dessert le bas service de la ville.

Coups de piston par minute,	coups 8
Volume d'eau montée par coup de piston,	mèt. c. 2
Hauteur d'élévation,	mèt. 48,80
Volume d'eau montée en 24 heures,	mèt. c. 23000

Quant au travail net, en ajoutant 4^m,20 à la hauteur d'élévation, pour toutes les résistances perdues de la colonne d'ascension, hauteur que nous avons trouvée, à Nantes, pour une charge à peu près semblable, on a :

Charge totale,	mèt. 53,00
Eau montée par seconde,	mèt. c. 0,267
Travail utile développé,	kmt. 14097
Chevaux-vapeur,	chev. 188
La dépense de houille par cheval et par heure,	kil. 2,25

La deuxième machine fonctionne pour le haut service ; elle donne aussi :

Coups de piston par minute,	coups 8
Volume d'eau montée par coup de piston,	mèt. c. 0,65
Soit par seconde,	0,087
Soit par 24 heures,	7516
Hauteur d'élévation,	mèt. 110,50

En ajoutant 1/10^e en plus à la colonne pour les pertes de charge, frottements en route, comme nous avons fait plus haut, on a :

Charge totale,	mèt. 121
D'où travail utile,	kmt. 10527
Ou chevaux-vapeur,	chev. 140
Dépense de houille par cheval et par heure,	kil. 2

Cette dépense correspond sans doute au travail nominal de 170 chevaux de la machine, et non pas au travail réel de 140 chevaux ici trouvé. Ce chiffre rectifié, par rapport au travail évalué en eau montée, avec les résistances de la colonne, donne par cheval 2 k. 43 de houille brûlée.

La troisième machine est une machine mixte, qui peut, au besoin, fonctionner alternativement pour le bas ou le haut service, au moyen d'un manchon mobile adapté au piston.

652. *Résultats réels des machines à simple effet. Système Cornouailles en France.* — Voici donc les résultats certains de cinq machines de grande puissance, sorties de l'un des meilleurs ateliers d'Europe, et qui dépensent, celles de Paris de 3 k. 007 à 3 k. 009 de houille par cheval, la puissance étant mesurée en eau montée, et en tenant compte de toutes les résistances de la colonne d'ascension, comme on a fait à Nantes, pour déterminer la consommation des machines à deux cylindres, que nous y

avons montées avec MM. Granger et Windsor, de Rouen. Celles de Lyon dépensent 2 k. 25 quand elles travaillent à pleine charge, et 2 k. 43 avec un cinquième de moins que leur charge normale. La moyenne des résultats de Lyon est de 2 k. 30. Ces résultats sont loin des dépenses de 1 kil. par cheval à l'heure, que l'on prétend obtenir avec les machines du Cornouailles. Il faut dire cependant que ces dernières ont des chaudières qui produisent un cinquième de plus de vapeur, et des détentes qui dépassent le rapport de 1 à 20. Ces résultats sont aussi bien éloignés de ceux donnés par nos deux machines à balancier et à deux cylindres, qui fournissent les eaux à Nantes, et qui, d'après des expériences de 18 heures de durée, répétées à plusieurs reprises pendant l'année de garantie, et consignées dans les procès-verbaux des ingénieurs, que nous avons donnés textuellement plus haut, dépensent en moyenne par cheval, à l'heure, 1 k. 204, c'est-à-dire près de moitié moins que celles de Lyon, et plus de moitié moins que celles de Paris : ce sont là des faits qui ne peuvent pas être contestés aujourd'hui.

653. *Machines à deux cylindres superposés.* — On construit aussi souvent, dans les petites forces, des machines à deux cylindres superposés, où les deux pistons sont placés sur une même tige, et les cylindres séparés par une boîte à étoupe métallique, à segments de bronze, ajustés comme les segments d'un piston. Des dispositions sont prises pour descendre le cylindre du bas, et le remettre sans difficulté ni perte de temps en place, quand on veut visiter le petit piston. Ces machines, dans les mains de bons constructeurs, sont très-simples d'ajustements : elles ont toutes les qualités des machines à deux cylindres, et ne coûtent à peu près que le prix des machines sans condensation.

654. *Machines à condensation marchant avec la vapeur perdue d'une machine sans condensation.* — M. Carillon et d'autres ingénieurs ont employé la vapeur perdue d'une machine à haute pression sans condensation, pour faire marcher une machine à détente et à condensation, qui donne à peu près la moitié de la

force de la première. La vapeur se rend, en sortant de la première, dans un récipient muni d'une soupape, et de là dans la distribution de la machine à condensation, où elle fournit un second travail, sans nuire en rien au premier. On a même mis deux machines, non pas consécutives, mais juxtaposées à la suite d'une seule.

Cette disposition peut être utile quand on n'a pas toujours assez d'eau pour condenser ; mais j'aimerais mieux une machine à deux cylindres qui pourrait marcher à volonté sans condensation, avec un seul cylindre seulement, ce qui serait facile en envoyant la vapeur directement sur le grand piston. On obtiendrait ainsi les mêmes avantages, et de plus toute la régularité de mouvement d'une machine de Woolf.

Comparaison des machines à vapeur avec les divers moteurs.

655. *Des moulins à vent.* — Après avoir montré les rapports qui existent entre les divers systèmes de machines à vapeur, il faut comparer brièvement les machines à vapeur aux autres moteurs, surtout à ceux qui sont le plus généralement employés, comme les manéges et les cours d'eau. Pour ce qui concerne les moulins à vent, on ne peut jamais les appliquer qu'à de petites industries, qui n'exigent pas une grande force, ni une marche régulière ; car il ne faut pas compter sur plus de 150 jours de travail dans l'année, avec une puissance sans cesse variable de 4, 6 et 8 chevaux, c'est un pauvre outil ! Quel travail régulier peut-on entreprendre quand on ne sait jamais si on marchera dans le quart d'heure qui suit, et quand on peut être arrêté trois mois de suite, et plus ?

656. *Des manéges.* — Quant aux manéges mus par des chevaux, c'est aussi un bien mauvais moteur, et le plus coûteux de tous. Nous ne pouvons trouver qu'une seule cause qui ait pu leur conserver longtemps un emploi trop fréquent en France, c'est le haut prix auquel ces machines à vapeur se sont trop longtemps

maintenues. Ces outils ont beaucoup baissé du prix d'achat, quoique installés avec beaucoup plus de soin; les meilleurs constructeurs ont fait avec succès de petites machines horizontales qui ont rendu de grands services. Il y a aujourd'hui peu d'ateliers bien conduits qui veuillent employer un moteur qui coûte plus cher que les autres en frais généraux, et qui, marchant sans cesse par secousses, toutes les fois qu'il faut ranimer les chevaux à coups de fouet, donne la plus grande irrégularité dans la vitesse et la travail des machines qu'il entraîne, et souvent même les brise.

Tous les essais faits pour l'appliquer à la mouture des grains ont échoué. La fabrication des huiles, hors des villes, peut encore lui offrir un emploi, parce qu'elle a lieu en hiver, dans le moment où le cultivateur dispose entièrement de ses chevaux et de son temps.

Le montage de l'eau pour l'arrosage des jardins est un des travaux qui lui sont restés le plus avantageusement, parce que le cheval qu'on attelle au manège sert à beaucoup d'autres usages. Nous donnons plus loin un bon système de manège de maraîcher, construit par M. E. Bourdon; mais, dans un grand nombre de petites industries, où il est trop souvent conservé, pour peu que l'établissement ait d'importance, il coûte plus qu'une machine à vapeur, même en comptant la houille à un prix élevé.

Nous conservons ici le compte des frais d'une filature de coton mue par un manège à chevaux, quoiqu'il n'y ait que de rares usines ainsi montées en France, pour servir de moyen de comparaison entre les deux systèmes de moteurs.

D'habiles filateurs de Troyes nous ont assuré qu'en payant la houille 60 fr. les 1,000 k., il y a encore de l'avantage à employer une machine à vapeur, au lieu d'un manège pour filer, quand on ne peut pas se procurer un cours d'eau convenablement situé.

657. *De leurs frais généraux.* — Il en est à plus forte raison de même en Normandie. Voici à peu près le modèle du compte à établir pour se guider dans le choix à faire entre un manège de deux chevaux et une machine à vapeur. On remarquera qu'avec un manège plus puissant l'avantage serait bien plus grand

encore pour les moteurs à vapeur : d'abord, parce que les frais d'entretien et la consommation de houille n'augmentent pas en proportion de l'accroissement de force ; ensuite, parce qu'au contraire la force d'un manège n'augmente pas à beaucoup près en proportion du nombre de chevaux qu'on y applique, et par conséquent de leurs frais d'entretien et de nourriture ; de sorte que quatre chevaux ne font pas deux fois plus d'ouvrage que deux, attendu qu'ils ne tirent jamais ensemble, et se contrarient toujours.

658. *Manège à deux chevaux pour monter de l'eau, par M. E. Bourdon* (pl. 17). — La fig. 41 représente l'élevation générale du manège qui en fait saisir les dispositions. La fig. 41 bis est un détail de la commande des pompes. Enfin, la fig. 42 est le plan du manège et de la commande.

Ce manège a été monté au château de ; il reçoit deux chevaux et fait marcher deux corps de pompe. La combinaison des roues d'angle et de l'arbre de couche, qui transmet le mouvement par-dessous le sol au puits où sont placées les pompes, du volant, et du bâtis en bois, est celle de beaucoup de manèges.

Mais il y a ici une transmission de mouvement qui est de M. Bourdon, et qui est très-ingénieuse. Quoiqu'il n'y ait que deux pompes sur le manège, elles élèvent l'eau au réservoir d'une manière continue, et sans que l'on puisse apercevoir les points morts de chaque coup de piston.

Ce résultat s'obtient au moyen de cames en fonte, que l'on trouvera fig. 42 bis. En examinant le tracé de ces cames, on voit que le temps employé par chaque piston pour effectuer sa course ascendante est égal aux deux tiers de la circonférence décrite par un point de la came, tandis qu'un tiers seulement du temps est employé pour la course descendante.

On obtient donc une régularité entière de vitesse d'écoulement de l'eau, en calant les deux cames sous un angle tel que l'un des pistons monte encore au moment où l'autre cesse de descendre.

La continuité d'écoulement de l'eau est aussi parfaite que si

on employait trois pompes, commandées par un arbre à trois manivelles régulièrement équidistantes.

C'est une très-bonne disposition que la prolongation de l'arbre vertical du manège, qui reçoit des tringles de fer destinées à soutenir le bout des bras, auprès des attelles : comme il y a toujours intérêt, et pour la moindre fatigue des animaux, et pour l'économie des forces perdues, à donner de grands diamètres aux manèges fixes, les longs bras en bois sont ici bien plus solides que s'ils étaient libres.

659. *Manège à bœufs.* — Quand on a besoin d'obtenir avec un manège une plus grande puissance, il faut, au lieu de chevaux, employer des bœufs, à qui leur lenteur, leur patience et l'habitude de ne jamais *forcer sur la résistance* permettent de travailler ensemble en nombre beaucoup plus grand. Ces manèges ont encore un bon emploi dans les féculeries, dans les sucreries indigènes; et cependant les fabricants de sucre qui savent calculer s'aperçoivent bien vite qu'avec un manège ils manquent de force; que toute leur fabrication languit et traîne en longueur; que la main-d'œuvre et les frais généraux en sont plus chers, et qu'enfin ils ont le plus grand intérêt à employer une machine à vapeur. Nous donnons, du reste, les plans détaillés d'un manège à six bœufs que nous avons construit dans la féculerie de M. Legendre, fermier à Guitry, département de l'Eure.

660. *Compte des frais de moteur pour une filature de coton à manège.* — Le compte suivant est supposé fait pour une filature située à Metz.

Un manège de deux chevaux ne pourra conduire que les machines préparatoires capables d'alimenter 9 ou 10 métiers en fin de 216 broches, c'est-à-dire 6 cardes environ, un banc d'étirage, un banc à broches de 12 à 15 broches, plus les mouvements. Un batteur simple n'y pourrait être ajouté qu'en ralentissant beaucoup la vitesse de la machine et de la carderie.

En choisissant des chevaux très-forts, on fera peut-être un peu plus d'ouvrage, mais aussi on accroîtra considérablement les frais d'entretien et de nourriture.

Les 9 métiers mus à bras d'homme n'auront pas, terme moyen, plus de 55 tours de vitesse, et feront chacun 10 ou 11 demi-kil. de coton au n° 30; soit sur 300 jours de travail 28,800 demi-kil.

Un cheval ne travaillant que 8 heures par jour, un manège de deux chevaux, pour donner 12 heures de travail réel, en demande au moins six à l'écurie; et un cheval de manège coûte, y compris l'entretien des harnais, les maladies et son remplacement en très-peu d'années, au moins 3 fr. par jour :

Six chevaux à 300 jours par an, et à 3 fr.	fr. 5400
Un domestique,	520
Total,	fr. 5920

C'est donc 18 centimes $\frac{3}{4}$ de frais de moteur par demi-kil. de coton, qui ordinairement n'est pas aussi régulièrement travaillé qu'à la machine, à cause de l'inégalité de mouvement et des vibrations continuelles, si fâcheuses dans la marche des préparations. A Rouen, on file encore, je crois, au manège, mais de très-gros numéros.

661. *Frais de la même filature, avec une machine à vapeur.*—Un cheval de vapeur entraîne facilement 500 broches filant le n° 30, y compris toutes les préparations. Pour la filature dont nous parlons, il faut une machine de quatre chevaux, et les métiers que le manège ne pouvait pas conduire marcheront à la machine.

Prix d'achat et d'établissement de la machine de 4 chevaux, fr. 10000

Dépense annuelle.

Intérêt à 10 p. 0/0 pour l'usure,	fr. 1000
Un chauffeur,	800
Huile, graisse, mastic et entretien,	500
Houille à 4 kil. par heure et par cheval, sur 13 heures par jour de travail, et 300 jours par an,	1400
Total des frais dans l'année,	fr. 3700

662. *Comparaison des résultats.* — La différence à l'avantage de la machine à vapeur est de 2,200 fr., auxquels il faut ajouter

5.

au moins 50 centimes par métier, retenus chaque jour aux fileurs, pour le paiement du moteur qu'on leur fournit : dans la plupart des villes manufacturières, les frais de moteur se payent 75 centimes par métier : sur 8 métiers en fin, et au moins 1 en gros, c'est par jour 4 fr. 50 c., et par an 1,350 fr., qui portent l'avantage de la machine à vapeur à 3,550 fr. par an, et réduisent les frais de moteur pour la filature des 28,800 demi-kil. de coton à 2,350 fr. Ajoutons que les préparations et métiers marchant avec une machine à vapeur auront une vitesse bien plus grande : les métiers feront, terme moyen, de 65 à 70 tours, et les cardes, 80 ou 90 tours. Par la rapidité, la régularité et la constance de la marche, il y a au moins $1/5^e$ d'ouvrage de plus, fait avec la même quantité de machines et dans le même local.

Ainsi, au manège, la filature de chaque demi-kil. de coton coûte en frais de moteur 18 centimes $3/4$; et avec la machine à vapeur, en ajoutant $1/5$ aux 28,800 demi-kil., on pourra en filer 34,800 avec 2,350 fr., ou à raison de 6 cent. par demi-kil.; sur une fabrication de 50 kil. par jour, l'économie est de 10 fr. 75 c., plus le bénéfice sur 15 ou 20 demi-kil. de coton, filés en plus. Observons qu'en cas de chômage, les chevaux continuent à manger, et la machine, au contraire, ne dépense plus de houille.

Nous ne comptons pour rien la qualité supérieure des produits filés, qui fait une différence de valeur de 10 centimes par kil. de coton, surtout à cause de la grande difficulté qu'il y a à filer de bonne chaîne à bras.

663. *Des roues hydrauliques.* — Les roues hydrauliques sont le seul moteur qui puisse être utilement employé dans les arts, concurremment avec les machines à vapeur; c'est aux circonstances locales à décider entre les deux. Lorsqu'un cours d'eau est situé avantageusement et dans le sein ou près d'une ville, ou au moins à portée des grandes communications; lorsqu'il présente une force suffisante pour le travail auquel on le destine; lorsqu'il n'est pas susceptible de tarir pendant une partie de l'été, aucune machine à vapeur ne peut lui être préférée,

parce que, dùt-on même en payer un loyer assez élevé, il y a là une économie d'entretien et de location, une facilité de conduite, que ne compense pas l'avantage possédé par la machine à vapeur, de marcher toute l'année avec la même puissance, par les plus fortes gelées, et par les plus grandes sécheresses; on ne saurait le nier, quelque soin que l'on donne à une machine à vapeur, il y a toujours des détails d'entretien et de menus frais qui compensent une partie de la perte de force qu'éprouve la roue hydraulique dans les sécheresses et les gelées, en la supposant bien construite, couverte, et placée sur un bon cours d'eau.

664. *De leurs défauts.* — Mais de même que nous avons exposé les principaux défauts des machines à vapeur, voici ceux des cours d'eau.

La plupart des cours d'eau, surtout les cours d'eau puissants, sont placés dans des pays montagneux et éloignés des villes; d'où résultent, pour les établissements qui les emploient, plusieurs inconvénients graves : l'un est de ne pouvoir se procurer facilement les ouvriers dont on a besoin (ceci est pour les ateliers qui en emploient un grand nombre), et par conséquent d'être plus à leur merci que dans une ville, de les payer souvent plus cher et de n'avoir pas le choix; l'autre est la nécessité d'avoir un atelier et des ouvriers pour la réparation des machines, qui se ferait plus facilement en ville; un troisième inconvénient est de rendre plus difficiles les travaux du chef d'établissement, quand son genre d'industrie réclame souvent sa présence sur un marché, ou dans un bureau en ville : il perd un temps considérable à faire le trajet de la ville à l'établissement, et il néglige ses affaires d'un côté ou de l'autre, puisqu'il ne peut être en même temps au bureau de la ville et à l'usine : les manufacturiers éclairés sentiront toute la gravité de cette observation; ils connaissent la valeur du temps et de la surveillance du maître.

665. *Ils sont rarement puissants.* — A ces premiers défauts, ajoutons que les cours d'eau présentent rarement de grandes puissances; la majeure partie ne dépasse pas 12 ou 15 chevaux

de force, on en voit peu au-dessus de 40 chevaux, et ils ne sont jamais susceptibles d'accroissement, quand la prospérité de l'établissement le réclame. Il faut donc, quand le cours d'eau ne répond plus au travail à exécuter, ou restreindre ce travail et se priver de tout développement, ou le partager entre plusieurs établissements isolés, inconvénients tous sérieux : tandis qu'une machine à vapeur transporte sur tous les points où l'industrie la réclame, au centre des villes et des grands marchés, ou sur le sommet des montagnes, une force qui n'a de limite que les besoins qui la demandent, et elle applique où l'on veut, et s'il le faut, sur un seul arbre de couche, la force de plusieurs grands cours d'eau réunis.

666. *Ils sont une source de procès, tarissent et gèlent, ou sont noyés.* — Les roues hydrauliques ont un autre inconvénient qui a souvent des conséquences fâcheuses, plus fâcheuses surtout là où l'industrie est la plus active, et où par conséquent le besoin de toute la puissance du moteur est le plus pressant. Nous voulons parler des procès presque inévitables et interminables entre les propriétaires de chutes d'eau qui se commandent les unes les autres. Il est peu d'établissements dans les pays industriels qui n'aient eu ou qui n'aient encore de ces procès à soutenir, pour les règlements de niveaux, ou pour le partage des eaux que l'on s'enlève réciproquement, comme si ce n'était pas une propriété réelle et respectable à l'égal de toute autre propriété, chaque usine cherchant à soutenir et à monter ses eaux, sans s'inquiéter de noyer la roue ou les propriétés qui se trouvent immédiatement au-dessus.

Quelle que soit la bonté d'un cours d'eau, les sécheresses s'y font inévitablement sentir, et il faut ordinairement ralentir les travaux à cette époque. Les glaces aussi les entravent une partie de l'hiver, et il est nécessaire, dans un établissement important, d'enfermer les roues sous une cage bien close, que l'on chauffe même pendant les grands froids. Un autre défaut aussi grave sont les grosses eaux qui noient si souvent les roues en arrière, et arrêtent tout travail pendant un temps assez long, surtout lors

des fontes de neiges. En un mot, les irrégularités de travail, et l'impossibilité d'augmenter la puissance du moteur, avec un cours d'eau, à mesure que les besoins de l'établissement se développent, forcent les manufacturiers qui possèdent des cours d'eau à installer auprès de leurs roues hydrauliques des machines à vapeur, que l'on prend d'abord pour servir à relayer au besoin la roue, et qui bientôt travaillent constamment avec celle-ci. On les réunit sans peine au moyen de manchons qui se dégradent quand un des moteurs va plus vite que l'autre, ou avec de fortes courroies à tendeurs. Nous donnons un de ces manchons d'accouplement. Avec quelques précautions au moment de la mise en marche, on peut les assembler par un emmanchement ordinaire. C'est ce que nous avons souvent pratiqué; il faut seulement mettre la roue hydraulique en mouvement la première, parce que la résistance des aubes dans l'eau immobile amènerait nécessairement des ruptures à la machine à vapeur ou au système d'accouplement.

667. *Comparaison des machines à vapeur et des cours d'eau.* — Les avantages et les inconvénients de ces deux moteurs étant ainsi exposés, apprécions leur valeur comparative, pour servir de guide aux industriels appelés à choisir entre eux.

La valeur locative, c'est-à-dire les frais de moteur des cours d'eau, varient tellement, avec leur situation et le degré d'industrie du pays, qu'il est presque impossible de donner autre chose que le cadre du calcul à établir pour arriver à une solution. En effet, tel cours d'eau, comme la chute de la Moselle, située au milieu de la ville de Metz, qui était loué précédemment 12 ou 1300 fr. par tournant à blé, c'est-à-dire pour 5 ou 6 chevaux de puissance, et qui se loue aujourd'hui 2,000 fr., depuis que le commerce des grains s'y est développé, ne sera pas loué à moins de 3,000 fr. aux environs d'une grande ville manufacturière ou dans son sein. Nous ne pouvons donc donner que des résultats approximatifs sur cette question.

668. *Frais généraux d'un moulin à eau et d'un moulin à vapeur en ville.* — Voici ce qu'il faut compter : Prenons pour

exemple un moulin à blé de quatre tournants, dont trois marchant ensemble et mus par une machine à vapeur de 12 chevaux, et supposons que l'on ait le projet de l'établir à Metz.

Nous avons vu que l'on pouvait dresser le compte des frais de la machine à vapeur à deux cylindres et bien construite, avec 20 heures de travail, comme suit :

Houille à 30 fr. les 1000 kil.,	fr. 4968
Entretien et réparations,	1500
Deux chauffeurs,	1600
Intérêts du capital de la machine et loyer du bâtiment,	4000
	<hr/>
Total,	fr. 12068

Les cours d'eau situés au milieu de la ville valent au moins 2,000 fr. par tournant tous ensemble; et si on les louait séparément, leur valeur s'élèverait encore. Ce n'est donc pas porter trop haut le loyer d'un cours d'eau capable de faire tourner trois moulins à la fois, et des bâtiments nécessaires à l'exploitation, que de les compter 8,000 fr.

Il faut en outre de grandes dépenses pour remonter ces moulins et les mettre en état de faire autant d'ouvrage qu'un moulin à vapeur; 20,000 fr. n'y suffiraient pas; l'intérêt doit en être compté à 10 p. 100 au moins, afin de couvrir les frais d'établissement à l'expiration du bail. On aura donc pour les frais annuels du moulin à eau :

Loyer,	fr. 8000
Intérêts des dépenses d'établissement,	2000
	<hr/>
Total,	fr. 10000

669. Or, avec le moulin à vapeur, on peut compter sur 340 jours pleins de travail, en supposant dans les deux cas que l'on travaille 350 jours par an, parce que les moulins n'arrêtent pas le dimanche : c'est compter largement que d'admettre 10 jours de chômage forcé pour une machine qui travaille jour et nuit; en effet, il est constant que, si d'un côté un moteur à vapeur fatigue plus en travaillant jour et nuit, de l'autre il est beaucoup

moins exposé à ces petits dérangements, à ces pertes de temps que l'on éprouve en arrêtant tous les soirs, comme dérangements de la pompe de puits, fentes des masticages par les dilatations et les contractions alternatives, brûlures des bouilleurs, pertes de chaleur par le refroidissement de la chaudière, etc.

Ainsi, une machine bien soignée qui n'est pas trop chargée, et qui travaille jour et nuit, ne doit pas avoir plus de 2 ou 3 jours de chômage dans l'année. Nous comptons dans les deux cas 15 jours par an de chômage volontaire pour grandes fêtes, etc.

Les 12,068 fr. de frais, répartis sur 340 jours de travail, donneront, pour le moulin à vapeur, frais par jour. 35 fr. 49 c.

670. Dans un moulin à eau sur la Moselle, il faut déduire de son travail, terme moyen par année en chômages forcés :

Pour deux grandes crues d'eau qui noient les roues, tant quand on est complètement arrêté, que lorsqu'on travaille à demi-charge, jours 10	
Pour deux et quelquefois trois mois de basses eaux, où l'on est obligé de travailler à demi-charge, perte nette,	30
Pour le temps des glaces, où l'on arrête les moulins et où ils travaillent à demi-charge,	15
	15
Total,	jours 55

Il ne reste donc de travail net, sur les 350 jours, que 295. Tous les hommes qui connaissent les cours d'eau seront d'avis que c'est encore compter trop haut le travail net des moulins, établis sur une excellente rivière : il en est beaucoup qui ne donnent pas 200 jours de travail, et qui sont encore estimés.

Les 10,000 fr. de frais, répartis sur 295 jours, donneront par jour de travail. 33 fr. 89 c.

671. Les moulins à eau ont ici un avantage de 1 fr. 60 c. par jour sur le moulin à vapeur, ou d'environ 500 fr. par an ; d'où il faut déduire le bénéfice que l'on aurait fait sur tout l'ouvrage que le moulin à vapeur exécute dans les 30 ou 40 jours qu'il travaille de plus que le cours d'eau, etc. Ce bénéfice est d'une haute importance, parce que c'est dans les moments où le moulin à eau vient à chômer, par les gelées, ou par les sécheresses, que le prix des farines monte le plus par rapport à celui

des blés, et que par conséquent les bénéfices du négociant meunier sont les plus grands; malgré cet avantage, les moulins à vapeur, même dans les mains de négociants habiles et prudents, ne soutiennent pas la concurrence des moulins à eau bien placés pour le cours d'eau et pour les achats de blé.

Ainsi comme la machine à vapeur présente nécessairement des chances imprévues qui n'existent pas avec des roues hydrauliques, et qu'elle demande plus de soins pour bien fonctionner, nous concluons, du compte précédent, que dans cette position le moulin à eau est plus avantageux que celui à vapeur.

672. *Frais du même moulin à eau, situé hors de la ville.* — Si d'un autre côté on le suppose monté hors de la ville et à six kilomètres de distance, tandis que le moulin à vapeur pourra s'établir au milieu de la ville, la question change; car aux frais de location d'un cours d'eau semblable, qui ne s'élèveront qu'à

Environ	fr. 4500
Et aux intérêts et remboursement des dépenses à y faire,	1600
Il faut ajouter :	
Quatre chevaux, dont un de cabriolet, à 2 fr. par jour, compris le renouvellement des chevaux, harnais, maladies, sur 365 jours,	3000
Un charretier,	600
Bureau en ville et commission pour chargements et déchargements, au moins	1800
Sur 300 jours de travail, frais,	fr. 11500
Soit par jour, 38 fr.	

Un moulin a aussi besoin d'un cheval et d'un charretier, que l'on peut évaluer à 1,000 ou 1,200 fr. par an, ce qui portera ses frais à 42 fr. par jour. Les frais de moteurs des deux établissements sont donc les mêmes ici; mais le meunier établi hors de la ville perdra en courses et en absences, soit de l'établissement, soit de son bureau en ville, une somme supérieure encore; l'avantage, selon nous, se trouve du côté du moulin à vapeur qui travaille 30 ou 40 jours de plus par an que le moulin à eau, et dans les moments les meilleurs pour la vente, tandis que le moulin à eau est alors obligé de chômer.

673. Cette dernière considération serait nulle s'il s'agissait d'un établissement d'un genre différent; mais il resterait toujours, en faveur de la machine à vapeur, l'avantage de pouvoir s'établir au centre des relations de la ville, d'être sur place pour recevoir les communications et les demandes des négociants et voyageurs, qui ne vont pas chercher un établissement loin de la ville; il se présenterait d'autres défauts encore, comme la difficulté de se procurer des ouvriers, et le prix plus élevé à leur payer, s'il s'agit d'une filature.

Ces données ne sont pas parfaitement exactes : elles suffiront cependant pour guider dans un calcul semblable, et montreront les points sur lesquels l'attention doit surtout se porter.

674. *Compte des frais de moteur d'une filature de coton sur machine à vapeur et sur cours d'eau.* — Nous devons à M. Crépet les notes suivantes sur la comparaison des machines à vapeur et des cours d'eau pour filature de coton. Il insiste d'abord fortement, en parlant d'une filature à eau placée à 12 kilom. de Rouen, sur les inconvénients de l'éloignement pour le placement des marchandises et les achats de matières premières, sur l'absence de population ouvrière dans les villages, et la fâcheuse nécessité de plier sous les ouvriers que l'on occupe, etc. Il rappelle le danger de passer par les mains des commissionnaires, qui ne présentent jamais vos produits qu'en concurrence avec d'autres marchandises semblables et dans le même magasin, ce qui force à vendre au prix de ceux qui sont pressés d'argent.

Vient ensuite le compte proportionnel des frais généraux qu'il établit pour une machine à vapeur de 12 chevaux et un cours d'eau de même force. La première, montée à Rouen hors barrière; le second situé seulement à 12 kilomètres de la ville.

Il suppose que la machine n'est pas surchargée, les 12 chevaux conduisant 6,000 broches avec les accessoires à 3,000 tours par minute.

Chaque broche fera, moyennement au n° 26, par chaque semaine de 81 heures de travail, 1/4 de kil. de fil de coton. Il admet, pour plus de simplicité, que le temps de travail sera le

même dans les deux établissements, les chômages pour gelées et sécheresses couvrant et au delà ceux d'entretien des machines à vapeur (cette concession est tout à l'avantage des moulins à eau, qui ont beaucoup plus de chômages que les machines à vapeur, même les plus délicates).

Il admet aussi que l'on ne fera sur aucun des deux moteurs du fil à la continue.

Frais généraux de la machine.

Local pour filer 1500 kil. par semaine, et logement du propriétaire au moins à loyer,	fr. 5000
Impôt foncier hors ville,	500
Intérêts du moteur,	1500
Dépréciation du moteur à 5 p. 0/0,	1000
Graisse, mastic, chanvre, etc.,	400
Réparations annuelles,	800
Un chauffeur,	1200
Houille : 13 heures 1/2 de travail à 2 kil. 1 2 par heure, 324 kil. à 4 fr. 00 c. pour 100 kil., prix moyen;	
12 fr. 96 c. par jour, et par an, sur 300 jours,	3888
Total des frais généraux,	fr. 14288

675. Compte annuel des frais généraux avec un cours d'eau. —

En 1820, à peu près, les cours d'eau se louaient aux environs de Rouen de 16 à 20 c. par kil. de coton qu'ils étaient capables de filer dans l'année; aujourd'hui ce loyer, y compris les bâtiments nécessaires à l'établissement des machines, se paye au moins 10 c. par kil.

Ainsi, 78,000 kil. par an, à 10 centimes,	fr. 7800
Impôt foncier,	500
Un cheval et entretien,	800
Cabriolet et entretien,	400
Les veilleuses se payent presque partout 0 fr. 75 c. par semaine de plus qu'en ville, soit 37 fr. par an. A n'en compter que 7 dans une carderie qui fera 1,500 kil. par semaine, c'est	259
Éclairage pour les ouvriers à leurs pièces, comme le fileur béli-cien, les dévideuses, qui ne leur est pas compté en ville, et qui l'est hors ville, soit 60 becs à 0 fr. 50 c. par bec, terme moyen, 30 fr. par semaine pendant 32 semaines,	960

Port de marchandises, tant pour cotons en laines que pour filés, à 1 fr. 50 c. par 100 kil., sur au moins 88,000 kil. de cotons, huile et autres provisions,	1313
On paye les fileurs en ville 0 fr. 28 c. le kil. au n° 28 ou 29; à la campagne ordinairement 0 fr. 28 c. au n° 26, et 29 c. pour le n° 28. Différence : 0 fr. 01 c. par kil.,	750
Magasin en ville, pied-à-terre, impôt,	1000
Dépense du cheval une fois par semaine,	100
Transport, commissions journalières, différence en plus pour serrurerie et menuiserie,	600
Un commis capable de diriger les ventes,	2400
Total des frais,	fr. 16882

676. *Comparaison.*— Pour rendre la position des deux filatures analogue, il admet que le propriétaire vende lui-même ses produits; s'il paye une commission pour cet objet, elle sera de 1 pour 100, et sur 300,000 fr. de ventes et achats, elle atteindra 3,000 fr. On voit qu'en définitive l'avantage d'être en ville, de diriger ses affaires soi-même, et les ventes beaucoup plus avantageuses que l'on fait, donnent une supériorité très-grande aux machines à vapeur. Aussi l'avis de M. Crépet est-il d'adopter, en pareil cas, une machine à vapeur sur place, au lieu d'un cours d'eau éloigné.

677. *Valeur d'un cours d'eau en Normandie.*— Ajoutons, comme un renseignement très-utile, qu'en Normandie on vend, en général, les cours d'eau avec bâtiment d'exploitation, sur un revenu compté à 7 ou 8 pour 100. Ainsi le cours d'eau dont nous parlons, et qui rapporte 7,800 fr. de loyer, vaudrait 100,000 fr. Un cours d'eau sans bâtiments, s'il est d'une faible puissance et bien placé, vaut à peu près 2,000 fr. par force de cheval, et s'il est considérable, 1,500 fr. seulement.

Observations sur la manière de traiter avec les mécaniciens.

678. Après avoir comparé les principaux systèmes de machines à vapeur entre eux, et avec les manèges à chevaux ou à bœufs

et les cours d'eau, nous allons nous adresser aux manufacturiers qui ont le projet d'employer une de ces machines, et leur indiquer la marche à suivre pour prendre une résolution motivée sur tous les faits qui se présentent.

Trente ans d'expérience manufacturière, l'organisation d'industries nombreuses et variées, et, dans presque toutes, la solution des questions les plus difficiles qui nous a été constamment demandée, la connaissance que donne la construction des établissements et des appareils les plus importants faits par nous-même, et les difficultés si multipliées des mises en activité qui ont été levées pour assurer partout le succès, surtout avec des procédés nouveaux, toutes ces conditions donneront certainement de l'autorité à nos conseils, qui ne pourront jamais être pris pour les conseils de la théorie pure ou pour ceux de la pratique seule.

On sentira partout, nous l'espérons, qu'ils se sont développés à la triple école de d'Arcet, de Pécelet, et de notre maître en mécanique et en hydraulique le général Poncelet.

S'il s'agit seulement de remplacer un manège par une machine à vapeur, ou de transporter sur une machine à vapeur un établissement monté sur cours d'eau, afin de l'augmenter et de le rapprocher de communications plus importantes; s'il s'agit au contraire de transférer sur un cours d'eau un établissement monté sur une machine à vapeur, ou d'ajouter une machine à vapeur à côté d'une roue hydraulique, les notes que nous avons données suffiront pour se rendre un compte approché du véritable état des choses et de ce qu'il y a de mieux à faire. Mais si l'établissement n'est pas encore formé, il se présente, avant de décider quel moteur on doit employer, beaucoup de questions qui ne sont pas de notre ressort, et que nous ne ferons qu'indiquer sans les examiner.

679. *Questions à poser avant d'entreprendre une industrie.*
— Celui qui veut former un établissement nouveau doit rechercher avec intelligence et maturité si cet établissement est une affaire de commerce plutôt que de fabrication, ou de fabrication plutôt

que de commerce; il n'y a pas de fabrication sans commerce : ils sont toujours mêlés, et la question est cependant très-différente; il doit voir si ses goûts, ses habitudes, ses études, sa capacité, sa constance, sont en rapport avec l'industrie où il va s'engager, et si de ce côté il sera maître de son affaire ou tributaire d'un commis et d'un contre-maitre ;

Si ses ressources pécuniaires, après avoir formé l'établissement entier, en ajoutant aux devis, avec quelque soin qu'ils aient été faits, une large part pour les chances d'erreur ou d'augmentation, suffiront aussi largement au roulement de l'affaire, et de quel genre sont ces ressources, personnelles ou étrangères, parce que, dans ces deux cas, les chances et les conditions de succès ne sont pas les mêmes ;

Si l'affaire est bonne en elle-même, indépendamment de ces circonstances personnelles et préliminaires, c'est-à-dire quels sont :

Les frais d'établissement ;

Ceux de fabrication de tout genre ;

En matières premières ;

Main-d'œuvre ;

Impôts ;

Intérêts des capitaux engagés en bâtiments, machines ou loyers, entretiens de bâtiments, machines ou ustensiles, comptés tous largement ;

Renouvellement de tous ces objets et remboursement annuel d'une portion de leur prix d'achat, comme réduction de valeur ;

Chances d'accidents, incendies, faillites, chômages ;

Frais de bureau, voyages, transports ;

Intérêts des fonds roulants sur la masse des avances à faire : escomptes sur les ventes ou commissions ;

Frais imprévus ;

Quelles ressources le pays peut offrir pour l'approvisionnement des matières premières, et s'il n'en résultera pas une hausse dans leur prix ;

S'il trouvera sous sa main une population manufacturière déjà

formée, accoutumée aux travaux de ce genre, ou s'il sera obligé de la former lui-même; s'il pourra se procurer assez d'ouvriers pour les besoins de la fabrication et l'entretien des machines;

Quel est, en ajoutant l'évaluation de toutes ces chances aux frais de fabrication, le revient de la marchandise fabriquée;

Quel est le prix courant de vente sur place s'il y a un marché; quels sont les débouchés sur place, ou au loin, et les moyens de communication et de transport, en comptant, dans les deux cas, sur une baisse dans le prix, afin d'avoir une marge suffisante;

Si la marchandise fabriquée est d'une consommation assez restreinte, par son prix élevé, ou par le peu d'emploi qu'elle trouve, pour que les produits du nouvel établissement puissent opérer une baisse subite; si la fabrication est concentrée dans un petit nombre de mains, de manière à faire redouter une coalition capable d'écraser le nouvel établissement sous une forte réduction de prix;

Si, au contraire, la marchandise est commune, d'un emploi très-étendu, et livrée à des prix assez bas pour que l'on n'ait rien de pareil à craindre, et que l'on soit toujours sûr de vendre, à la faveur d'une différence légère, toutes les quantités fabriquées, condition qui offre autant d'avantages que de sécurité;

S'il existe dans le pays des établissements du même genre, et s'ils prospèrent : c'est une des plus fortes garanties que l'on puisse trouver;

Dans le cas où la fabrication serait neuve, de quel poids doivent être dans la question les difficultés inévitablement liées à la création d'une industrie nouvelle et au développement de ses débouchés;

Quelles chances de concurrence prompte on peut rencontrer, ce qui dépend et de la possibilité de conserver les procédés secrets ou privilégiés par un bon brevet d'invention, et de l'importance des capitaux nécessaires pour former un établissement rival;

Quelle étendue on doit donner à sa fabrication pour la mettre en rapport avec les ressources du pays en matières premières,

avec les débouchés et les moyens pécuniaires dont on peut disposer, etc.

680. *Choix de la machine à vapeur.* — L'indication de ces questions, quoique incomplète, ne sera pas sans utilité pour les hommes qui ne se sont pas encore occupés d'industrie. Nous les regardons comme résolues, et nous supposons le manufacturier décidé aussi à prendre une machine à vapeur.

Les localités étant choisies, il doit s'assurer s'il y trouvera de l'eau de bonne qualité, en quantité suffisante pour alimenter sa machine, et plus grande encore s'il y a lieu à prendre une machine à condensation, et surtout si l'industrie qu'il crée exige un emploi important d'eau.

L'examen des lieux et un puits creusé décideront la question : en y établissant deux ou trois pompes à bras, on jugera sans peine s'il peut suffire largement à tous les besoins, et on essaiera si l'eau est douce et savonneuse. En parlant du condenseur, nous dirons plus loin quel est le volume d'eau nécessaire à la condensation. Les calculs que nous avons donnés plus haut (618) guideront le manufacturier dans le choix du système de machine à vapeur à adopter. S'il y a de l'eau en grande abondance, et de la houille à 8 ou 10 fr. les 1,000 kilogrammes, ou au-dessous, il pourrait prendre une machine à basse pression. Mais s'il suit nos conseils, et en même temps, si la quantité est moins grande, et la houille plus chère, il adoptera une machine à moyenne pression et à condensation, en observant que plus la machine dont il a besoin sera forte, plus l'avantage de ces machines sur presque tous les systèmes sera grand, et plus par conséquent il faudra que le prix de la houille soit bas pour en prendre un autre, parce que les frais de consommation de la houille augmentent beaucoup plus rapidement que les autres frais des machines à vapeur; et par conséquent si pour une machine de douze chevaux, la limite du prix de la houille où l'on peut employer les machines de Watt est à 8 ou 10 fr., pour une machine de 30 ou 40 chevaux, cette limite devrait descendre beaucoup plus bas.

Nous avons dit plus haut quelles étaient les conditions indus-

trielles qui devaient décider du choix entre les machines à deux cylindres et à grande détente, et les machines horizontales à grande détente.

Si, au contraire, l'eau est rare, ou qu'il faille l'aller chercher à une profondeur considérable, et par conséquent avec une grande dépense de force, ou qu'elle se vende à un prix assez élevé, triples conditions réunies à Paris, on doit prendre une machine à haute pression, sans condensation. Il en est de même si la machine dont on a besoin est de petite puissance.

Ainsi, nous admettons que le manufacturier qui veut former un établissement est parfaitement fixé sur un système de machine à vapeur, et qu'il est au moment d'entrer en relations avec les mécaniciens pour cet objet.

681. *Du marché à passer avec le mécanicien.* — La première question est celle de la force à donner à la machine; deux observations sont ici nécessaires. Il est d'abord très-important de prendre, en commençant un établissement, une machine plus puissante qu'il ne faut pour conduire les ateliers projetés; c'est le seul moyen de pouvoir plus tard augmenter l'établissement, sans être obligé de surcharger la machine. Nous dirons plus loin combien cette surchargé est funeste, aussi bien aux mouvements de communication qu'aux moteurs : c'est la plus grande chance d'accidents qu'un manufacturier puisse mettre contre lui; tandis qu'avec une machine trop forte, on réserve une marge aux accroissements que la prospérité de l'établissement ne peut manquer de rendre nécessaires. Nous avons vu peu de manufacturiers qui n'aient pas eu à regretter l'achat d'une machine trop faible. Et que de pertes de temps, que de dépenses pour en opérer le changement !

682. En second lieu, tout en déterminant la puissance de la machine qu'il veut acheter, le manufacturier ne doit considérer cette condition que comme secondaire; ce n'est pas une machine de telle force en chevaux qu'il lui faut, c'est une machine capable de conduire tant de métiers, et de faire tant d'ouvrage; c'est la seule méthode dans laquelle il trouvera des garanties, la

seule qui, laissant de côté les expressions peu nettes de force de chevaux, aille au but, et contienne un engagement positif, explicite, et franc de toute difficulté, puisqu'il est facile de constater par experts si l'ouvrage demandé est fait ou non dans de bonnes conditions de travail. Il est quelques cas où cette méthode ne peut pas être suivie : celui où l'on destinerait la machine à conduire des travaux de différents genres, comme dans une blanchisserie, une brasserie, ou quand la force nécessaire au service est mal connue.

L'expérience a prouvé que les marchés passés entre les manufacturiers et les mécaniciens pour la fourniture de machines de telle force de chevaux sont trop souvent sujets à des difficultés, et deviennent une source de procès funestes aux deux parties, parce que les conditions du traité ne sont pas posées nettement. L'emploi du frein dynamométrique de Prony a déjà tranché bien des procès de ce genre, quoique la certitude de ses résultats soit encore contestée; mais en laissant le mécanicien garantir le travail à exécuter, toutes les fois que cela est possible, les difficultés disparaissent.

Quand la mécanique appliquée aux arts aura fait de nouveaux progrès, et que l'on aura perfectionné et répandu partout l'emploi du frein, la mesure directe de la force des machines pourra servir de base aux marchés, et en garantir l'exécution.

Aujourd'hui, il faut traiter, autant que possible, pour que la machine exécute largement tout le *travail dont on a besoin*, en y ajoutant l'excès de force que l'on veut se réserver, et déterminer ce travail en quantités fixes. Ainsi, lorsqu'il s'agira de monter une filature de laine, on traitera pour l'achat d'une machine à vapeur capable de conduire un nombre déterminé de cardes, et de travailler par jour tant de kilogrammes de laine. Il en sera de même pour un moulin à blé, où l'on fixera la quantité de grain à nettoyer, moudre et bluter par 24 heures, ou au moins le nombre de paires de meules à faire marcher, avec leurs accessoires.

On doit surtout fixer dans le marché, d'une manière très-

précise, la dépense de combustible nécessaire par jour à la machine à vapeur pour faire, en tant d'heures, un travail déterminé. C'est une condition capitale.

683. *Nécessité d'un ingénieur pour organiser l'ensemble des travaux.* — Nous engageons encore les manufacturiers à confier toujours à une même main l'organisation de leur établissement, afin de ne pas partager, et par conséquent de ne pas anéantir la responsabilité. Ils y trouveront un autre avantage, s'ils ne se sont pas trompés dans leur choix, l'établissement sera formé avec plus d'ensemble, et ils pourront exiger qu'il soit livré en activité, c'est-à-dire à l'épreuve; et ils auront de bons avis toujours prêts à chacune des difficultés que présente infailliblement l'organisation d'un établissement.

Beaucoup d'industriels, fort instruits du reste, sont persuadés qu'ils trouveront une économie importante à diriger eux-mêmes une partie de leurs travaux. Ils ne traitent que pour ceux qu'il leur est impossible d'exécuter par eux-mêmes, et croiraient perdre les honoraires donnés à un ingénieur pour leur servir de conseil. Ils veulent aussi s'adresser directement au mécanicien ou au chaudronnier, pour leurs machines ou leurs appareils : et cependant, quand ils ont besoin d'une maison, ils réclament le secours d'un architecte. A plus forte raison les avis d'un homme spécial sont-ils indispensables dans des questions aussi difficiles que celles de mécanique, d'hydraulique ou de chauffage.

La longue pratique que nous avons et notre profonde conviction nous permettent de dire avec certitude qu'un ingénieur expérimenté, prudent et consciencieux, est aussi nécessaire au manufacturier qu'un architecte au propriétaire et un avocat à celui qui a un procès. C'est une vérité qui se répand avec les connaissances en administration industrielle, et nous avons vu beaucoup de manufacturiers demander aujourd'hui des conseils de tous les jours, ou au moins dans les questions importantes, et regretter de ne pas les avoir plus tôt appelés. Il est certain, et nous en appelons là-dessus à l'expérience de la plupart des industriels, qu'ils n'obtiendront pas, sans de longs et coûteux tâtonnements,

un succès qui eût été certain et facile s'ils se fussent adressés à des hommes déjà éprouvés dans les constructions industrielles, et au courant de toutes les difficultés imprévues qu'elles peuvent présenter, de toutes les améliorations qui y sont chaque jour introduites.

684. On ne fait bien que ce que l'on fait constamment et spécialement : et c'est à cette seule condition qu'on le peut faire avec économie. Un manufacturier croit pouvoir construire lui-même, sans conseil, une roue hydraulique ; il étudie la question dans des ouvrages techniques ; mais il n'en a pas encore établi : s'il a besoin de pièces de fer et de fonte, il les payera probablement plus cher que l'ingénieur ne les lui aurait fait acheter, en choisissant avec certitude le constructeur qui convient le mieux pour le travail à exécuter ; et s'il économise là les honoraires de l'ingénieur, il se trouvera sans garantie. Car il est important de remarquer que le mécanicien garantit sa machine, mais ne garantit pas le choix de la machine ni du système. Et qui garantit le choix des mécaniciens ? Personne. Il est de plus impossible que, faite sans expérience des travaux hydrauliques, la roue ne présente pas quelques défauts, évités sans peine par une main plus éclairée.

En un mot, tout travail est cher et imparfait quand il n'est pas exécuté par des hommes du métier : c'est une erreur dangereuse que de vouloir faire tout par soi-même, et de se passer des secours étrangers. On s'expose à autant de dangers en voulant construire ou améliorer sans conseils une manufacture que l'on connaît mal, et dont, au moins, on ne peut connaître bien toutes les parties à la fois, qu'en voulant se soigner sans médecin dans une maladie grave.

685. Qu'un manufacturier étudie à fond toutes les branches de connaissances qui peuvent lui être utiles, c'est un devoir, et c'est pour lui la plus grande garantie de succès. Mais ses connaissances, quand il s'agit d'un travail important, doivent lui servir à juger l'homme à qui il veut confier des travaux, et les procédés qu'il veut employer, et non pas à les appliquer lui-

même. Quelque instruit qu'il soit, il ne sait pas tout dans chaque branche. Ainsi un fabricant de toiles peintes a-t-il un calorifère à construire, il doit s'adresser à un ingénieur qui en ait construit; et ce qu'il payera pour honoraires de ce travail sera le prix de la garantie morale et des garanties positives données par l'expérience du constructeur et par le marché fait avec lui. Nul manufacturier éclairé n'hésitera à reconnaître combien il est important de marcher sans tâtonnements dans l'organisation ou l'amélioration d'un atelier, combien surtout est difficile le choix des procédés et des machines, et du mécanicien à prendre.

686. Mais si les manufacturiers doivent imposer des conditions sévères aux mécaniciens et aux ingénieurs, et en exiger des garanties positives, ils ne doivent pas hésiter à payer ce que valent ces conditions et ces garanties.

Le cours naturel de l'industrie, quand il n'est contrarié par aucune loi, règle directement le prix des choses sur leur prix coûtant, augmenté des chances que présente l'opération; parce que ces chances, ou leur prix d'assurance, sont encore une partie essentielle du prix coûtant, et que toute assurance doit être payée. Ainsi le prix des marchandises coloniales, à part ce qui est dû aux tarifs de douanes et aux lois coloniales, ce prix, disons-nous, est composé du prix d'achat aux colonies, des frais de transport, des intérêts des capitaux, du bénéfice du négociant qui les fait venir, et en outre des chances de pertes, soit par avaries, soit par fausses spéculations: sans quoi personne ne voudrait s'occuper de ce commerce.

687. *Du prix des machines.* — Il en est de même des machines: en ajoutant à leur prix coûtant le bénéfice légitime de toute industrie, qui doit être plus fort ici que dans beaucoup d'autres carrières, parce qu'il exige des connaissances plus étendues, une plus longue et plus coûteuse expérience, des travaux plus dangereux et plus pénibles, qui usent l'homme plus vite et ne peuvent se continuer aussi tard dans la vie que de simples opérations de commerce: parce que ces travaux sont plus longs à exécuter, le renouvellement des capitaux moins fréquent, etc.,

on n'a pas encore la véritable valeur de ces machines, on n'a pas fait entrer dans le calcul toutes les chances d'accidents, de retards même auxquelles le mécanicien est exposé, les frais de modèles qui sont changés si fréquemment par suite de perfectionnements, les nombreuses pièces déjà préparées que ces perfectionnements réduisent à la seule valeur de la vieille fonte et du vieux fer, etc.

688. C'est seulement ainsi que l'on aura le vrai prix de la machine; on doit donner une sérieuse attention à notre dernière observation, l'une des causes les plus puissantes qui entravent les progrès de la mécanique en France. Pour perfectionner la machine et l'appareil les plus simples, il faut des dépenses considérables et beaucoup de temps, qui est la plus grande des dépenses : le succès ne couronne pas toujours les efforts les mieux dirigés et les plus constants, et si la tentative échoue, tous ces frais sont perdus. Ils doivent alors être couverts par une affaire qui réussit, et qui a ainsi deux dettes à payer, la sienne et celle de l'essai manqué; de plus chaque perfectionnement introduit dans une machine, dans un métier à filer, par exemple, rend inutiles et force à briser ou refondre tous les métiers, ou au moins les pièces déjà construites sur l'ancien modèle; dans un grand atelier, cet article forme, pour le mécanicien consciencieux et avide de perfectionnements, une perte considérable.

689. *Nécessité d'un prix qui permette des perfectionnements aux mécaniciens.* — Il résulte de ces réflexions, que notre cadre ne nous permet pas de développer, mais qui sont certaines et faciles à prouver, que l'on n'obtiendra des perfectionnements nombreux et importants en mécanique qu'en payant les bonnes machines à un prix avantageux pour le mécanicien. Si on lui marchandé les produits de son talent et de sa constance, quand le succès les a couronnés, comme une denrée qui a cours sur le marché, et qui se cède sans frais, sans chances, de la main à la main, avec un bénéfice très-modeste, le mécanicien s'abstiendra de perfectionnements, dont on ne veut pas lui payer les tâtonnements; il construira tout sur les modèles et les procédés vérifiés par l'ex-

périence, parce que là il est sûr du résultat, et n'a que peu d'accidents à prévoir, avec une construction solide et soignée.

Voilà ce qui arrive à bien des manufacturiers, qui traitent le génie comme une marchandise courante, et dont l'escompte est réglé chaque jour par des tarifs de bourse. Au contraire, le manufacturier sage et éclairé, qui veut acheter des machines, doit chercher à se procurer les meilleures, et en disant les meilleures, nous ne connaissons pas de limite au bien. Rien n'est trop bon, non pas sous le rapport du luxe, toujours inutile et ruineux, mais sous les rapports de la solidité et du soin dans l'exécution, parce qu'il n'y a pas de médiocrité en machines. La différence de prix d'une mauvaise machine à une bonne est si faible, que ce misérable avantage est bientôt couvert et dépassé par les frais de raccommodage, d'entretien, et les pertes de fabrication ou de chômage, et par le mauvais travail que l'on fait.

690. *Garanties morales des constructeurs.*—La véritable économie est dans l'achat des bonnes qualités, en marchandises comme en outils; et ici, la première, la plus haute garantie est dans le choix du constructeur, dans son talent, sa moralité, la manière de faire son atelier. Celui-là seul mérite une confiance entière qui, quand un marché est signé, ne se demande pas : *Que dois-je faire pour gagner le plus possible sur ce marché?* mais bien : *Que dois-je faire pour l'exécuter dans les conditions les plus parfaites?*

Le manufacturier exigera des garanties nettes et détaillées, afin d'être assuré de la réussite de son établissement; il payera un prix qui lui donne le droit d'exiger de bon ouvrage, sans se baser sur les prix qui lui sont demandés pour des machines du même genre, mais moins bien construites, et en même temps qu'il tiendra à l'exécution des conditions qui intéressent la sûreté et la bonne marche de son établissement, quand ces conditions seront remplies, et qu'il aura lieu d'être satisfait des résultats, il ne se montrera pas difficile sur d'autres points accessoires, dont l'un des principaux est le temps nécessaire pour monter l'établissement.

691. *Des retards dans la livraison des machines et appareils.*

— Quiconque s'est occupé de travaux de ce genre, sait combien il est difficile, dans une affaire étendue, de ne pas rencontrer des obstacles imprévus, des pièces manquées à renouveler, etc., qui entraînent des retards aussi fâcheux sans doute pour le manufacturier que pour le mécanicien, mais que souvent l'on eût évités en négligeant quelques parties de l'ouvrage. Quand le mécanicien a rempli ses obligations, et il doit les remplir sans hésiter, dans toutes leurs conséquences, et avec cette bonne foi, cet amour du bien qui ne sont pas renfermés dans le cercle étroit d'un engagement écrit, mais qui vont jusqu'où les pousse le besoin de ne rien laisser imparfait ; alors le manufacturier doit montrer de son côté qu'il sait apprécier le travail et la manière dont il a été exécuté ; il doit, dans les circonstances qui se peuvent présenter, agir envers le mécanicien, comme le mécanicien a agi avec lui, en se rappelant que lui, de son côté, n'a aucune chance à courir, qu'il est assuré contre toutes, que, quelle que soit la perfection apportée dans l'exécution des machines, et dont il profite directement, il n'a rien à payer au-dessus du prix arrêté, tandis que le mécanicien est exposé à une foule de chances, que le meilleur prix ne compense pas toujours.

Personne ne nous reprochera d'avoir trop insisté sur les devoirs du manufacturier envers le mécanicien, en nous accusant de plaider notre propre cause. On reconnaîtra ici, comme partout, l'entière conviction et la certitude que nous avons de parler dans l'intérêt véritable du manufacturier : nous avons en effet développé franchement les devoirs de l'ingénieur et du mécanicien envers les industriels, et nous avons indiqué à ceux-ci les garanties qu'ils doivent exiger.

692. *Examen et réception des machines à vapeur.* — Pour compléter cette instruction, parlons de la manière d'examiner et de recevoir les machines.

Le manufacturier qui n'a pas jugé le concours d'un ingénieur nécessaire ne doit pas se contenter d'étudier la machine à vapeur que l'on monte dans ses ateliers quand elle est montée ; il en

doit suivre et surveiller la pose, pour s'assurer que l'on y apporte tous les soins réclamés pour cette opération, et qu'aucune précaution n'est négligée pour en assurer la solidité et la marche régulière et économique (599); il doit aussi suivre avec soin la construction des fourneaux : la plupart des maçons ne la comprennent pas, et en changent toutes les dispositions, ou au moins les proportions, sans se rendre compte de leur importance, ce qui plus tard expose l'industriel à souffrir soit d'un mauvais tirage, soit du mauvais résultat des fourneaux (147). On doit suivre la pose de chaque pièce de la machine, et l'examiner avant et pendant le montage, on découvrira mieux alors des défauts, qui plus tard seraient cachés.

Quand la machine est posée et prête à fonctionner, on en passe en revue toutes les pièces, on vérifie les ajustements des grains du parallélogramme, de la tête de la bielle, des pistons, etc. ; si l'on voit qu'ils soient négligés, on doit concevoir des doutes sur le soin avec lequel ont été travaillées les pièces dont on ne peut pas constater facilement l'exactitude.

693. *Essai des fourneaux.* — Cet examen terminé, on chauffe les chaudières en étudiant leur marche, le tirage des fourneaux, quand ils sont bien secs. Au moment où on allume le feu pour la première fois, si la construction est récente, l'humidité du briquetage refroidit tellement la fumée, qu'elle sort entièrement froide de la cheminée, et qu'il n'y a aucun tirage. Après une ou deux heures de chauffe, et aussitôt que le fourneau est sec, le tirage se développe tout à coup.

694. On examinera, dans les premiers jours de travail, si le feu est vif et si l'on est obligé de le modérer au moyen du registre, pour régler sa marche sous la charge ordinaire, afin de se ménager de la marge, quand les carneaux contiendront de la suie (577).

695. *Essai de la machine à vapeur.* — La machine à vide doit s'enlever sous la plus faible pression, et prendre aisément la plus grande vitesse; si elle était lourde à vide, elle souffrirait plus encore à charge.

Si la machine est à deux cylindres, elle doit enlever sa charge sous une pression qui ne dépassera que peu trois atmosphères au manomètre; s'il fallait plus de pression, à moins que la charge ne soit forcée, il y aurait lieu de craindre que, plus tard, quand les pistons ne seront plus aussi propres, les masticages en aussi bon état, elle n'exigeât de la vapeur beaucoup plus forte.

On fera cependant attention qu'une machine ne possède pas toute sa légèreté dans les premiers jours de sa marche. Il en est de même lorsque, après avoir longtemps travaillé, on en démonte les pistons pour un nettoyage. Tous les systèmes de machines sont dans le même cas; ce n'est qu'après un certain temps que, les pièces de cuivre étant rodées, et moulées sur celles de fer et de fonte, les frottements sont adoucis, et la machine parfaitement légère.

696. Il faut s'assurer ensuite que la machine ne fait aucun bruit, ne donne aucune secousse; que ses pièces fixes, comme les cylindres, les colonnes et surtout le palier de la manivelle, n'éprouvent pas d'ébranlement; que le condenseur ne tire pas d'air; que la pompe de puits fournit plus d'eau qu'il n'est nécessaire pour le service de la machine chargée; que les tiges de pistons descendent verticalement, et sans forcer d'aucun côté; que les boîtes à étoupes tiennent bien la graisse, autrement, il est probable que la course des tiges de piston n'est pas verticale; que les parties de la machine qui doivent être masticquées sont dressées, rabotées et ajustées avec beaucoup de soin, comme les bords des cylindres sur lesquels reposent les plateaux, comme les plateaux des boîtes, etc.; quand elles ne sont pas bien dressées, on use beaucoup plus de mastic, et l'on ne fait que de mauvais masticages. Nous insistons sur cette condition quelquefois négligée, et qui est la cause de désagréments et de pertes de combustible, par l'air que ces ajustements défectueux admettent, tandis que les bons ajustements ne se dérangent jamais; il faut s'assurer aussi que tous les tuyaux à vapeur ont un diamètre assez grand, que les soupapes de la pompe alimentaire tiennent bien l'eau, enfin que les tiroirs et les robinets de distri-

bution de vapeur ferment hermétiquement et sont bien réglés.

697. *Méthode d'essai des fourneaux et de la consommation des machines.* — Ajoutons ici quelques observations sur la méthode à suivre pour soumettre une machine à vapeur à des essais concluants, et vérifier si les engagements du mécanicien sont loyalement remplis.

Nous admettons qu'il a garanti une *puissance en chevaux* et une *consommation de houille* déterminées.

Bien des mécaniciens, quand ils éprouvent la consommation d'une machine, pèsent la quantité de houille qu'elle emploie en *trois ou quatre heures*, et sur ces courts résultats annoncent et garantissent des consommations que le manufacturier se trouve avoir, au bout de l'année, dépassées de 40 à 50 p. 100, et quelquefois plus.

698. *Causes d'erreurs dans des essais trop courts.* — Il y a là de nombreuses causes d'erreurs. Il est d'abord impossible d'évaluer exactement la quantité de combustible qui reste sur la grille, et la pression de la vapeur avant et après l'essai ; puis, on ne tient pas compte du temps nécessaire pour chauffer la machine ; enfin, d'après les intéressantes observations de Wesserling (63), la quantité de vapeur produite par un combustible donné varie de quantité entre les résultats obtenus le matin et ceux du soir, et par conséquent suivant que le fourneau est poussé plus activement, ou qu'on le laisse ralentir. Le matin, il faut échauffer le briquetage et les carneaux : la dépense est plus grande ; le soir, tout étant rouge, le chauffeur ralentit son feu, et utilise à produire de la vapeur tout ce que les parois avaient absorbé le matin : la dépense de combustible est alors beaucoup moindre ; enfin, après l'extinction totale du feu, cette chaleur accumulée dans la brique produit encore considérablement de vapeur. Dans les fourneaux de Wesserling, qui avaient à peu près 30 chevaux de puissance, la quantité de vapeur ainsi développée après le travail était de 200 kil., qui répondaient exactement à la quantité de houille consommée le matin pour réchauffer le fourneau.

699. *Méthode à suivre pour faire une expérience exacte.* — Ainsi, pour qu'un essai soit positif et certain, il faut le faire durer au moins un jour entier, et y comprendre la quantité de houille brûlée pour chauffer la machine, comme aussi comprendre dans l'eau évaporée celle qui se vaporise le soir après la suspension du travail. Pendant cette expérience sur la dépense du combustible, la machine étant réglée à sa vitesse, on lui fait subir un essai au frein avec sa charge de règle.

Les résultats que nous donnerons en parlant de la marche des fourneaux, sur les variations de dépense du combustible, suivant la saison et l'état atmosphérique, montreront que, pour qu'un essai soit parfaitement concluant, il faut le répéter plusieurs jours de suite. La multiplicité des observations est la condition fondamentale de la certitude, dans toute science expérimentale.

En suivant fidèlement cette méthode, jamais on ne sera induit en erreur sur des questions aussi importantes. Pour éviter toute difficulté, il faut insérer dans le contrat passé avec le mécanicien la forme dans laquelle les essais doivent s'exécuter.

700. *Délai de garantie nécessaire.* — Tels sont les points principaux sur lesquels doit porter l'examen du propriétaire. Quant aux vices que le travail de la machine pourrait lui découvrir, le temps exigé pour la garantie lui apprendra s'ils tiennent à un défaut de la machine même, de son montage ou de sa conduite. Ce délai doit être d'un an, excepté pour les petites machines, où six mois peuvent suffire. Ce délai de garantie, compté à partir du jour où la machine fonctionne à pleine charge, est d'une haute importance. Ce n'est pas un essai de quelques jours, à vide, ni même un essai d'un jour ou deux au frein, qui peut montrer les défauts d'une machine; il faut pour cela qu'elle conduise toute sa charge industrielle plusieurs mois de suite, avec un chauffeur intelligent, honnête, qui sache faire et qui transmette à son patron toutes les observations auxquelles la conduite journalière de la machine a donné lieu, et surtout les qualités ou les défauts qu'il a reconnus.

C'est seulement l'étude de tous les jours d'un moteur à vapeur

chargé qui peut le faire connaître et montrer ses défauts ; ceux-ci, grands ou petits, doivent être corrigés par le constructeur. Le meilleur essai d'une machine, nous le répétons, c'est un travail non interrompu de plusieurs mois avec la charge entière des ateliers.

Nous donnons, dans l'Appendice de ce volume, un modèle de marché à passer avec les mécaniciens

701. On trouvera dans les notes du premier volume, page 410, la marche à suivre pour obtenir l'autorisation nécessaire à l'établissement d'une machine à vapeur ou d'une usine.

Calcul et mesure de la force des machines à vapeur.

702. Notre but est de présenter ici les procédés pratiques employés pour calculer la force des machines, ou pour la mesurer. Ces procédés ne donnent pas des résultats rigoureux, parce que, bien que l'on puisse se rendre un compte approximatif de la force développée, et de celle dépensée en frottements et non utilisée, on ne peut pas faire entrer exactement dans le calcul les circonstances particulières à la machine que l'on évalue, comme le degré de perfection avec lequel elle est construite, le bon état de son entretien, etc., et l'on est obligé d'employer des formules générales qui comprennent, sous une seule expression, toutes ces pertes de force, pour un même système de machines à divers états d'entretien.

Le seul procédé constant et certain est évidemment la mesure directe, par le frein, de cette force, qui se trouve ainsi appréciée en produit net, c'est-à-dire par son effet utile. Mais les moyens qu'on y a appliqués jusqu'à ce jour sont encore difficiles à pratiquer, ce qui s'oppose trop souvent à leur emploi. Nous en parlerons avec assez de détails pour que l'on puisse en faire usage ; il est à désirer que cet emploi se répande partout, d'abord à cause de la certitude qu'il introduit dans la mesure des machines, ensuite parce qu'il fournit le moyen de recueillir des

résultats variés et précis sur la quantité d'action qu'exigent les divers travaux industriels, et de former ainsi des tables très-utiles aux mécaniciens et aux manufacturiers.

703. Nous avons puisé la majeure partie des détails que nous donnons dans le cours de mécanique industrielle de M. le général Poncelet, le seul savant qui, occupé de hautes recherches mathématiques, ait senti comment elles devaient être appliquées à la mécanique pratique, comment elles en devaient diriger les expériences, en recueillir et comparer les résultats, et qui ait présenté, sous une forme simple, et réduit à une seule expression, nette, précise et facile à concevoir, la mesure de toutes les forces mécaniques utilisés.

Le général Poncelet, à qui nous devons les meilleurs conseils dans les constructions hydrauliques et mécaniques que nous avons faites, et qui nous honore de son amitié, a développé en peu de pages, dans le cours de mécanique qu'il a fait pour les artistes et ouvriers Messins, la théorie des machines à vapeur, et donné avec une admirable clarté, la manière d'en calculer la force et d'en apprécier les effets ; ce sont ses méthodes qui nous serviront de guide. L'industrie attend aujourd'hui avec impatience son grand traité de mécanique, monument que lui seul peut élever sur les bases qu'il a su poser, et qui prouvera que le but direct de la science est l'utilité de tous.

704. *Mesure commune des moteurs.* — La force d'un moteur, quel qu'il soit, se mesure par la pression qui est exercée sur ce moteur, multipliant l'espace parcouru en une seconde, ou sa vitesse par seconde. Ainsi la force d'une manivelle sur laquelle un homme travaille est mesurée par l'effort qu'il y exerce, multipliant le chemin qu'elle parcourt en une seconde. Tout travail, et par conséquent celui d'une machine à vapeur, est mesuré de la même manière ; c'est ce que l'on nomme *quantité de travail*, *quantité d'action*.

705. *Mesure de la force des machines à basse pression et sans détente.* — Supposons d'abord, pour la simplicité du calcul, que la vapeur agisse pendant toute la course du piston avec la même

tension, c'est-à-dire qu'il n'y ait pas de détente : rien ne sera plus facile que le calcul à faire. Si la vapeur est à une atmosphère de tension, c'est-à-dire si elle est seulement capable de soutenir un poids de 1 k. 033 par centimètre carré, il est évident que la pression totale exercée sur le piston sera égale à autant de fois 1 k. 033 qu'il y a de centimètres carrés dans sa surface. Si son diamètre est de 0 m. 27, on obtiendra sa surface en formant le carré de ce diamètre, qui donne $27 \times 27 = 729$ centimètres carrés, et multipliant ce produit par $\frac{765}{1000} = 574$ centimètres carrés, on a le rapport du diamètre carré au *diamètre rond*, c'est-à-dire la quantité à laquelle il faut réduire le carré du diamètre pour avoir la surface du cercle du même diamètre.

Nous avons dit que la pression de la vapeur est égale à une atmosphère, ou 1 k. 033 par centimètre carré : la pression totale sera donc 573 centimètres carrés, multipliant 1 k. 033 = 592 k. Admettons maintenant, pour plus de simplicité, que la course du piston soit de 1 m. en 1 seconde, il résultera de là que la force de la machine sera égale à un effort de 592 k., parcourant 1 m. en 1 seconde, ou 592 k. multipliant 1 m., ce qu'on représente par cette expression 592 *kilogrammètres* ou 592 km. Si la vitesse du piston était de 0 m. 80 en 1 seconde, la force de la machine serait de 592×0 m. 80, ou 474 km.

On admet, dans ce calcul, que le refroidissement qui a lieu par la surface des cylindres, et dont il se faut préserver le plus possible, comme nous l'avons montré (307 à 310), est presque nul par rapport à la quantité de vapeur que dépense la machine, dès qu'elle est en mouvement, ce qui n'est pas tout à fait exact. En même temps, la tension de la vapeur est mesurée avec un manomètre placé sur la chaudière, et la tension de la vapeur dans les cylindres est toujours plus faible que dans la chaudière; il faut calculer sur une force inférieure à celle indiquée par le manomètre, surtout si les tuyaux de conduite de vapeur sont d'un faible diamètre. Nous préciserons plus loin cette différence.

706. *Tension du condenseur en sens contraire du mouvement.*

— On remarquera aussi que la pression exercée sur le piston,

par la vapeur qui vient de la chaudière, n'est pas exercée pleinement et sans opposition, et en dehors de tout ce qui est dépensé en frottements ; car, dans toutes les machines à basse et à moyenne pression, on condense la vapeur dans de l'eau froide, et dans un vase séparé ; l'eau qui condense cette vapeur acquiert une température de 40° environ, et à cette température la vapeur ou l'eau chaude conservent une tension assez forte, qui, en s'ajoutant à la tension de l'air resté dans le condenseur, et que la chaleur a chassé de l'eau de condensation, donne un effort qui n'est jamais moindre de 0 k. 050 par centimètre carré, et qui arrive souvent à 0 k. 150. C'est donc ce dernier nombre qu'il est prudent d'adopter dans les calculs. Cet effort est, au reste, facile à mesurer, en adaptant un manomètre au condenseur (567).

707. *Indicateur du vide.* — Quoi qu'il en soit, la tension de 0 k. 15 par centimètre carré, restée dans le condenseur, agit en sens contraire du travail de la vapeur de la chaudière, et contrebalance une partie égale de l'action de cette vapeur sur le piston. Pour calculer exactement l'effort développé par la vapeur de la chaudière sur un piston derrière lequel agit encore la tension de l'eau chaude et de l'air dégagé dans le condenseur, il faut retrancher de l'effort de la vapeur, sur chaque centimètre carré du piston, l'effort contraire de la tension du condenseur ; ce qui restera sera la différence de ces deux pressions, et par conséquent la pression effective réellement exercée sur le piston. Ainsi, dans l'exemple précédent, l'effort sur le piston est de 1 k. 033 par centimètre carré ; l'effort en sens contraire ou de résistance est 0 k. 15. En retranchant cette dernière somme de la première, la pression réelle est de 0 k. 883, et en multipliant les 573 centimètres carrés du piston par 0 k. 883, on obtient pour la pression réelle sur le piston 516 k., qui, multipliant la vitesse de 1 m. par seconde, donnent 516 km., ou un travail de 516 k., avec une vitesse de 1 m. en 1 seconde.

708. *Calcul d'une machine à haute pression, à condensation et sans détente.* — S'il s'agit d'une machine à haute pression, dans laquelle la pression de la vapeur soit de 4 atmosphères, et celle

du condenseur 0 k. 15, on calculera la force de la machine en multipliant par 4 le nombre 1 k. 033, qui est la pression par centimètre carré pour une atmosphère : ce qui donne 4 k. 132 par centimètre carré de la surface du piston, moins l'effort contraire de 0 k. 15, d'où résulte une pression réelle de 3 k. 982 par centimètre carré, qui, multipliant les 573 centimètres carrés du piston, donne 2282 k. sur tout le piston, et, avec une vitesse de 1 m. en 1 seconde, 2282 km.

Ainsi rien de plus simple que le calcul à faire pour avoir la force d'une machine à vapeur sans détente : c'est de multiplier la pression effective de la vapeur sur le piston par le nombre de centimètres carrés contenus dans la surface de ce piston, et de multiplier le tout par la vitesse du piston en une seconde; le produit est le *travail brut développé en une seconde par la vapeur*, ou le poids qu'elle soulève, avec 1 mètre de vitesse en 1 seconde.

709. *Machines sans condensation.* -- Le calcul s'opère ici comme nous venons de le dire pour les machines à haute pression et à condensation, si ce n'est qu'il n'y a rien à déduire pour la contre-pression du condenseur, et qu'il faut retrancher de la pression totale active de la chaudière une atmosphère, ou 1 k. 033 par centimètre carré du piston, pour l'effort qu'exerce la pression atmosphérique derrière le piston, charge que la vapeur est obligée de soulever pour s'échapper dans l'air.

710. *Machine à simple effet.* — S'il s'agit de calculer la puissance d'une machine à simple effet, sans détente, c'est-à-dire d'une machine dans laquelle la vapeur n'agit jamais que d'un seul côté du piston pour le faire descendre, de manière que, dès qu'il arrive au bas de sa course, la communication avec la chaudière se fermant, et le vide se faisant sur le piston, au moyen d'un condenseur, le piston remonte par l'action d'un contrepoids attaché à l'autre extrémité du balancier, comme dans toutes les machines du Cornouailles (car ce système n'est employé que dans les épuisements de mines ou pour élever des eaux destinées au service des villes), l'opération est la même : on calcule l'effort exercé par la vapeur pendant toute la descente du piston,

avec la vitesse que le piston a dans une seconde, vitesse qui ne dépasse pas six coups par minute; seulement il n'y a aucun travail développé pendant que le piston remonte.

711. *Calcul de la vitesse du piston.* — Pour calculer la vitesse du piston en une seconde, on détermine combien la machine donne de coups de piston en une minute. Prenons une machine de dix chevaux, qui donne 28 coups de piston, ou 56 demi-oscillations en une minute, avec une course de 1 m. 05 par coup de piston; le piston aura définitivement parcouru en une minute un espace de $56 \times 1 \text{ m. } 05$ ou 588 mètres divisés par 60 secondes, qui donnent 0 m. 980 en une seconde. Si la machine est à simple effet, la vapeur n'agit que pendant la descente du piston; et il n'y a que 28 courses, ou une vitesse moyenne moitié moindre.

712. *Calcul de la détente.* — Mais, dans la plupart des machines, on laisse la vapeur se détendre pendant une partie de la course du piston, et il faut tenir compte de cette détente dans le calcul.

On détermine d'abord pendant quelle portion de sa course le piston reçoit l'action de la vapeur sans détente, c'est-à-dire est en communication libre avec la chaudière qui lui fournit de la vapeur. Supposons la course totale du piston égale à 1 m. 44, et la partie de cette course où la vapeur agit sans détente égale à 0 m. 32, la vapeur se détendra pendant une course de 1 m. 12, et elle occupera alors un volume $4 \frac{1}{2}$ fois plus grand que celui qu'elle occupait au moment où la communication avec la chaudière a été interceptée. Puisque 1 m. 44 est égal à $4 \frac{1}{2}$ fois 0 m. 32, la vapeur se sera donc détendue de 4 fois $\frac{1}{2}$ son volume primitif, et elle aura 4 fois $\frac{1}{2}$ moins de tension à la fin de la course du piston qu'au commencement. Mais quelle est la somme des pressions développées pendant cette détente?

713. *Formule rigoureuse.* — Voici la manière de la calculer exactement. En premier lieu, il est évident que, pendant la première partie 0^m,32 de la course, la vapeur ne s'étant pas détendue, la quantité de travail produite sera égale à la pression, que nous supposons $3 \frac{1}{2}$ atmosphères $\times 1 \text{ k. } 033 \mp 3 \text{ k. } 6155 \times$

7.

la surface du piston dont le diamètre est supposé 0^m,80 ou 5026 centimètres carrés, ce qui donne pour la pression exercée sur le piston 18171 kil., et, multipliant ce produit par le chemin parcouru 0^m,32, on a 5815 kilogrammètres.

Pour le reste de la course, on divisera l'espace restant 1^m,12 en un nombre pair de parties égales, en 4, par exemple, et désignant cet espace restant par les lettres *a b c d e*, les divisions faites aux points *b c d* seront *ab. bc. cd. de.* égales chacune à 0^m,28.

En désignant par *P* la pression totale sur le piston, au point *a*, au commencement de la détente, pression que nous avons vue être 18171 kil., on calculera les espaces parcourus et les pressions exercées successivement par la vapeur, à mesure qu'elle se détend, en se rappelant qu'en vertu de la loi de Mariotte, la vapeur, aussi bien que les gaz, a une tension qui est en raison inverse du volume qu'elle occupe. (Voy. Appendice de la première partie, page 408, note 12, sur la compression de l'air dans les manomètres.) De sorte que, quand elle occupe un espace deux fois plus grand, elle a une tension moitié moins grande; quand l'espace est triple, la tension est réduite au tiers : ainsi l'on a toujours la pression de la vapeur détendue, en divisant la pression primitive par le rapport du volume primitif au nouveau volume : ce qui revient à multiplier la pression par le volume primitif, et à la diviser par le nouveau volume : si cette pression est égale à 2 k. 4 par centimètre carré, et que le volume qui était égal à 1 soit devenu 3, la nouvelle pression sera

$$\frac{1 \times 2 \text{ k. } 4}{3} = 0 \text{ k. } 8.$$

On formera ainsi la table suivante des espaces parcourus, et des pressions correspondantes aux divers points de divisions.

Pos'tions du piston en	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
	centimètres.				
Espaces parcourus,	32	60	88	116	144

Pressions correspondantes,	P	$\frac{37}{60} P$	$\frac{32}{88} P$	$\frac{32}{116} P$	$\frac{37}{144} P$
Opérant le calcul,	18174 k.	9692,8 k.	6608,7 k.	5013,5 k.	4038,7 k.
Numéros des pressions,	1	2	3	4	5

Avec ce tableau des pressions aux divers points de division, on calculera facilement la quantité de travail développée pendant la détente, par la règle suivante.

Pour obtenir cette quantité de travail, on additionne ensemble.

Les pressions extrêmes,	k. 18174	} = k. 22212,7
	4038,7	
Deux fois la somme des pressions de rang impair,	2 × k. 6608,7 =	13217,4
Quatre fois la somme des pressions de rang pair,	4 × (k. 9692,8 + k. 5013,5) =	58825,7
	Somme,	kil. 94255,4

On multiplie alors cette somme par l'espace constant compris entre les 4 divisions que nous avons faites dans la course de la vapeur qui se détend, c'est-à-dire par 0^m,28, ce qui donne 26391 km., et on prend enfin le tiers de ce produit 8797 km., qui est la quantité de travail développée par la vapeur sur le piston, pendant qu'elle se détend : il faut y ajouter ensuite la quantité de travail développée par la vapeur dans la première partie de la course, pendant qu'elle agit sans détente et que nous avons trouvée être 5816 km. ; on aura donc pour la quantité totale de travail 8797 + 5815 = 14612 km. ; c'est le travail pendant une demi-oscillation du piston. Pour avoir le travail d'une seconde, il faut encore multiplier ce produit par le nombre de demi-oscillations en 1 minute, et le diviser par 60 secondes : le quotient sera le travail en 1 seconde.

714. *Formule moins exacte.* — Dans le cours des travaux industriels, on peut se contenter, et nous le faisons toujours, de diviser l'espace dans lequel la vapeur se détend en 2 parties

égales, au point *c*, chacune de $0^m,56$, et de faire le calcul par la même méthode. Ce moyen est plus court, plus simple, et donne des résultats qui diffèrent peu des premiers.

On aurait trouvé ici pour le travail produit par la détente

$$1/3 \times m. 0,56 (k. 18174 + k. 4038,7 + 4 \times k. 6608,7) = 9081 \text{ kmt.},$$

puisque les pressions de rang pair disparaissent. On ajoute de même ce travail à celui de la vapeur sans détente 5815 km., et le total est 14896 km.; on voit que le résultat est un peu plus fort.

715. *Méthode abrégée pour calculer le travail des machines à vapeur* (1). « La dernière méthode que nous donnons ici repose sur ce principe que, lorsqu'un volume donné de vapeur à une tension déterminée se détend d'une même quantité, il développe toujours la même quantité de travail. Il suffira donc de calculer d'avance une table qui donne le travail transmis au piston d'une machine à détente quelconque, par un certain volume de vapeur prise à une tension déterminée, et pour les diverses hypothèses que l'on peut faire sur cette détente, ou sur le rapport du volume occupé par la vapeur, au moment où elle va se rendre au condenseur, à celui qu'elle occupait à l'instant où elle a commencé à se détendre sous le piston de la machine. On en conclura facilement, dans chaque cas particulier, et par une simple proportion, la valeur même du travail que dans toute autre circonstance elle serait capable de développer sur le piston d'une machine différente.

Supposons, par exemple, que nous sachions, d'après la table, qu'un mètre cube de vapeur introduit, à la tension atmosphérique ordinaire, sous le piston d'une machine dans laquelle la détente est 4 fois $1/2$ le volume primitif, communique à ce piston, dans une course entière ou une demi-oscillation de la machine, une quantité de travail représentée par *F*, et qu'il s'agisse de calculer le travail *x* que produit pour la même détente un

(1) Poncelet, *Mécanique industrielle*, 1^{re} partie, page 175.

volume de vapeur de 0 m. cc. 25 sous une pression de 3 1/2 ou 7/2 atmosphères, on n'aura qu'à écrire la proportion

$$1 \text{ m. cc. } \times 1 \text{ atm.} : \frac{7 \text{ atm.}}{2} \times \text{m. cc. } 0,25 :: F : x;$$

$$\text{d'où } x = \frac{7 \times 0,25}{2 \times 1 \times 1} \times F = \frac{7 \text{ atm.}}{2} \text{ m. cc. } 0,25 \times F = \text{m. cc. } 875 = F$$

$$= \text{m. cc. } 875 \times 25867 \text{ km., } x = 22633 \text{ km.}$$

« Il restera à diminuer cette valeur x de la quantité de travail que développe en sens contraire la vapeur du condenseur, dans une course entière de celui des pistons qui est en communication directe avec le condenseur. Ce qui est facile; mais on doit encore remarquer que ce produit a besoin d'être multiplié, comme nous l'avons dit plus haut, par le nombre d'oscillations en 1 minute, et divisé par 60 secondes, pour donner le travail en 1 seconde.

Table des quantités de travail produites sous différentes détente, par 1 mètre cube de vapeur d'eau prise à la tension de l'atmosphère.

Volume après la détente.	Quantité de travail correspondante.	Volume après la détente.	Quantité de travail correspondante.	Volume après la détente.	Quantité de travail correspondante.
m. cc.	km.	m. cc.	km.	m. cc.	km.
1,25	12,635	4,25	25,277	7,25	30,794
1,50	14,528	4,50	25,867	7,50	31,144
1,75	16,111	4,75	26,426	7,75	31,483
2	17,490	5	26,955	8	31,811
2,25	18,707	5,25	27,459	8,25	32,129
2,50	19,795	5,50	27,940	8,50	32,437
2,75	20,780	5,75	28,399	8,75	32,736
3	21,679	6	28,839	9	33,027
3,25	22,506	6,25	29,261	9,25	33,310
3,50	23,271	6,50	29,665	9,50	33,585
3,75	23,984	6,75	30,055	9,75	33,854
4	24,650	7	30,431	10	34,116

• Ajoutons que quand il n'y a pas de détente, et que le volume

reste égal à 1, le travail produit par l'action directe du mètre cube = 10,333 kilogrammètres.

716. *Exemple de calcul.* — Pour montrer comment on doit se servir de cette table, prenons encore les données de la machine que nous avons calculée plus haut, où la vapeur est introduite à 3 1/2 at. de pression, et doit occuper après sa détente 4 fois 1/2 son *volume primitif*. La première chose à calculer est la valeur de ce *volume primitif*, ce qui est toujours facile quand on connaît les dimensions de la machine. Ce volume est, dans l'exemple cité plus haut, égal à

$$(m. 0,80)^2 \times 0,785 \times m. 0,32 = m. cc. 0,16085.$$

La table donne pour la même détente du mètre cube de vapeur à 1 at. la quantité de travail 25,867 kilogrammètres; donc, d'après ce qui vient d'être dit, celle qui répond à 3 atmosphères 1/2 et aux 0 m. cc. 16085 sera

$$atm. 3,5 \times m. cc. 0,16085 \times k. m. 25,867 = kmt. 14562.$$

Nous avons trouvé plus haut, par la formule rigoureuse, 14613 kil. (705); on remarquera que dans la table qui précède, le travail direct de la vapeur à pleine pression, avant sa détente, se trouve réuni au travail spécial de la détente, de sorte que c'est le travail total que l'on obtient ainsi.

Le calcul de la force de la machine s'achèvera comme nous l'avons dit plus haut.

717. *Méthode défectueuse au delà des détentes à 6 volumes.* — Il faut observer que, pour les détentes qui excèdent six fois le volume primitif, les résultats donnés par la table qui précède ne sont pas aussi forts que l'indiquent les nombres du tableau. On doit d'ailleurs admettre qu'au delà d'un certain nombre de fois le volume primitif, la quantité de travail utile va plutôt en diminuant qu'en augmentant; parce que, au delà de cette limite, la résistance et les frottements absorbent le bénéfice donné par la détente. On a vu qu'avec les constructions si parfaites de

MM. Farcot, Windsor et autres, la détente est portée avec avantage à 25 et 30 fois le volume primitif (1).

718. *Méthode des mécaniciens qui donne des résultats trop forts.* — La méthode suivie par les mécaniciens donne des résultats très-erronés qui exagèrent beaucoup la force des machines.

Ils prennent, en effet, pour la pression moyenne exercée sur le piston pendant la détente, la moitié de la somme des pressions extrêmes au commencement et à la fin de cette détente; ainsi dans l'exemple précédent on aurait :

$$1,12 \text{ m.} \times \frac{18174 \text{ k.} + 4038,7 \text{ k.}}{2} = 12439 \text{ km.,}$$

ce qui surpasse beaucoup les 8797 kil. trouvés plus haut pour le travail de la détente seule. Ainsi, il faut bien se garder d'adopter cette méthode, qui induirait les manufacturiers dans des erreurs graves sur la force de leurs machines.

719. *Calcul des machines à deux cylindres.* — Ce procédé si inexact sert à presque tous les mécaniciens pour déterminer la force des machines à deux cylindres, en calculant le travail donné sur le petit piston par la vapeur à pleine pression et celui donné par la détente sur le grand piston, et déduisant de là, d'abord la somme des résistances développées derrière le petit piston, par la vapeur qui se détend dans le grand cylindre, et derrière le grand piston par la pression du condenseur.

Ce mode de calcul est bon en principe, mais mauvais par la méthode défectueuse employée pour le calcul du travail de la détente.

Voici la formule que nous avons trouvée, et qui est exacte.

Nous donnons ici le calcul d'une bonne machine à deux cylindres de 12 chevaux, que nous avons eu l'occasion d'essayer au frein.

(1) On trouvera à la fin de ce volume, dans les recherches de M. Ch. Laboulaye sur l'équivalent mécanique de la chaleur, pourquoi les formules deviennent de plus en plus inexactes à mesure qu'il s'agit de détentes poussées plus loin.

Diamètre du petit piston,	mèt.	0,235
Surface,		0,0426
Course,		0,880
Diamètre du grand piston,		0,450
Surface,		0,1590
Course,		1,167
Cube d'une course du petit piston,	m. cc.	0,0375
Cube d'une course du grand piston,		0,1855
Rapport de la détente,		4,95
Pression de la vapeur,	4 atmosph. = kil.	4,133

Nous calculons d'abord le travail total de la détente sur le grand piston, c'est-à-dire la somme des pressions multipliées par les espaces parcourus, en divisant en deux parties seulement la course de ce piston. Puis, en divisant ce travail total du grand piston par sa course entière et par sa surface, nous obtenons la *pression moyenne* sur le grand piston pendant toute sa course. Le calcul de la force de la machine est alors facile.

La pression nette sur le petit piston est égale à la pression initiale, diminuée de la pression moyenne du grand piston, qui est une résistance opposée au mouvement.

Et le travail sur le petit piston est égal, comme dans toutes les machines, à la pression nette, multipliant la surface et la course du petit piston.

Le travail sur le grand est égal à la pression moyenne, diminuée de l'arrière-pression du condenseur, et multipliant la surface et la course du grand piston.

La puissance développée par la machine est la somme de ces deux quantités de travail.

Effectuons-en le calcul.

D'après la formule simple, nous avons :

Pression initiale sur le grand piston : $P = 1590 \times k. 4,133 = 6571 k.$

La course du grand piston divisée en deux

$$\frac{1,167}{2} = 0,583.$$

La capacité du coup du petit piston divisée par la surface du grand piston pour avoir la longueur parcourue par la vapeur à pleine pression, avec le diamètre du piston sur lequel il y a détente, donne :

$$\frac{0,0375}{0,1590} = 0,235.$$

Les espaces successivement parcourus par le grand piston sont alors

$$\begin{aligned} 1^\circ & \qquad \qquad \qquad \text{mèt. } 0,235; \\ 2^\circ & \text{ mèt. } 0,235 + \text{mèt. } 0,583 = \text{mèt. } 0,818; \\ 3^\circ & \quad 0,818 + \quad 0,583 = \quad 1,401. \end{aligned}$$

Nous avons donc

Espaces parcourus,	mèt. 0,235	mèt. 0,818	mèt. 1,401
Pressions correspondantes, {	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
		$\frac{\text{mèt. } 0,235}{\text{mèt. } 0,818}$	$\frac{\text{mèt. } 0,235}{\text{mèt. } 1,401}$
	kil. 6571	kil. 1887	kil. 1102

Prenant

$$\begin{aligned} \text{La somme des pressions extrêmes,} & \quad \text{kil. } 6571 + 1102 = \text{kil. } 7673 \\ \text{Et deux fois la pression de rang pair,} & \quad 1887 \times 2 \quad 11447 \\ \frac{\text{kil. } 11447 \times 0,583}{3} & = 2225 \text{ km., travail total sur le grand piston,} \end{aligned}$$

la pression moyenne supportée par le grand piston pendant toute sa course est évidemment le travail total divisé par la surface et par la course du piston.

$$\frac{\text{kil. } 2225}{0,1590 \times 1,167} = \text{kil. } 1,199;$$

D'où pression nette sur le petit piston, kil. 4,133 — kil. 1,199 = kil. 2,934

Travail du petit piston, kil. 2,934 \times mq. 0,0426 \times m. 0,88 = 1100 km.

En admettant la pression du condenseur égale à kil. 0,20,

la pression moyenne nette sur le grand piston est

kil. 1,199 — kil. 0,20 = kil. 0,999, et le travail du grand

piston = kil. 0,999 \times mq. 0,1590 \times mètr. 1,167 = 1853

Travail total de la machine en une demi-oscillation, km. 2953

A 23 tours de manivelle, comme dans l'essai au frein, et par conséquent 46 demi-oscillations, le travail ramené à la seconde est de

$$\frac{2953 \times 46}{60} = 2264 \text{ km.}$$

L'essai au frein a donné un poids de 89 kil., enlevé à 80 tours de vitesse d'arbre, ou 22 tours de machine, avec un levier de mèt. 2,57;

D'où
$$Q = \frac{\text{kil. } 89 \times \text{mèt. } 8,074 \times 80}{60} = \frac{\text{km.}}{958} = 12,75 \text{ ch.-v.}$$

auxquels il faut ajouter pour les frottements des engrenages et arbres intermédiaires, la disposition des lieux nous ayant forcés de placer le frein sur un arbre de couche, au lieu de le mettre sur l'arbre du volant, environ

$$93 = 1,25$$

Travail total du frein, km. 1050 = 14 ch.

Ainsi l'effet utile de la machine est égal à 46,33 0/0 du travail total développé par la vapeur sur les pistons, comme nous allons le montrer plus loin.

720. *Calcul et essai au frein de deux machines à deux cylindres, accouplées et construites par M. Hallette d'Arras, pour la filature de lin de Rollepote (Pas-de-Calais).* — Nous avons été chargés de la réception et de l'essai de ces machines, vendues pour un travail maximum de 110 chevaux, qui sont largement proportionnées et qui, sous un travail de plus de 150 chevaux, ne donnent aucun ébranlement dans leurs pièces. Elles marchent très-rondement même avec cette charge; seulement, elles ne détendent que de 1 à 4, ce qui est loin d'être suffisant, et ce qui porte la dépense de houille par cheval à 2 kil. 10; tandis qu'en détendant de 12 à 15 fois, la consommation de ces machines serait réduite d'un tiers et ramenée à 1 kil. 50 au plus.

Les générateurs n'ont pas non plus une surface assez large. Le frein a été placé sur l'arbre transversal de transmission, commandé à 65 tours de vitesse par un pignon de 42 dents et un volant denté de 144 dents.

Les machines marchaient alors à 19 coups.

Le frein a reçu successivement des charges de 112, 118, 146

et 154 chevaux, sous lesquelles les machines conservaient leur légèreté.

Le tableau qui suit contient les détails et les résultats de ces expériences; nous avons, bien entendu, ajouté au travail du frein le calcul de la force consommée en frottements par l'arbre qui le portait, frottements qui s'élèvent à 5 chevaux.

721. Tableau des expériences faites sur deux machines de 55 chevaux.

Heures.	Combustible: hectolitres pris.	Pressions.	Pression moyenne par expérience.	Numéros des expériences.	Charge additionnelle du frein.	Charge totale Avec le levier, 160, La corde, 2, Total, 162,		
h.	hect.	atm.			kil.	kil.		
9,16	2	4,20	atm. 4	Expér. n° 1.	125	277,50		
9,37	»	4,10			»	»	»	
9,38	»	4			»	»	»	
9,40	»	3,90			»	»	»	
9,47	2	3,80			»	»	»	
9,52	»	3,90			»	»	»	
9,55	»	4			»	»	»	
10,5	»	4,10			»	»	»	
10,18	2	4			4,983	Expér. n° 2.	145	297,50
10,40	2	3,95					»	»
10,44	»	4	»	»			»	
11	2	4	Expér. n° 3.	165			317,50	
11,24	2	4		»			»	»
12	»	3,90		»	»	»		
12,11	2	4	3,975	»	»	»		
12,26	»	4,10			»	»	»	
12,28	»	4,10			»	»	»	
12,31	»	3,90			»	»	»	
12,36	»	3,80			»	»	»	
12,48	2	3,80			3,90	Expér. n° 4.	185	337,50
12,54	»	3,90	»	»			»	
12,56	»	4	»	»			»	
1,9	1	4	3,85	Expér. n° 5.	205	357,50		
1,19	»	3,90			»	»	»	
1,23	»	3,80			»	»	»	
1,27	»	3,70			»	»	»	
4,11								

Voici les dimensions des pièces de ces machines, qui sont nécessaires pour en calculer la puissance :

Rayon du frein,	mèt.	4,805	
Circonférence,		30,190	
Poids du levier, à la suspension de la charge,	kil.	150,50	} 152,50
Id. des cordes,		2	
Nombre de dents de la grande roue,		144	} Rapport
Id. id. du pignon du frein,		42	

montées pour la Filature de Ro. le pôt (Pas-de-Calais), par M. Ed. Hallette.

Tours en une minute.	Nombre moyen des tours par expérience.	Heures des expériences.	Travail du frein.	Chevaux donnés en effet utile.	Vitesse des machines en une minute.	OBSERVATIONS.
t. 62	t. 60	h. 9,20	km. 8378	ch. 111,70	t. 17,54	Pendant une partie de l'expérience à 10 h., les valves d'introduction avaient été plus fermées.
60		»				
»		9,40				
»		»				
»		»				
58	74,42	10	11136	118,50	21,73	Les valves sont rouvertes un peu, mais elles restent fermées au tiers.
75		10,15				
74,25		10,30				
74		10,45				
70		10,50				
70		11				
»		»				
»	68,67	»	10920	145,60	20,05	
»		»				
»		»				
66	66	12,40	11204	149,40	19,20	
»		»				
»		12,54				
66	64,50	1	11599	154,50	18,80	
66		1,5				
63,50		1,18				
64		1,20				
»		»				

Travail du frottement de l'arbre qui porte le frein, poids = k. 9000
 Diamètre des portées, mètr. 0,23
 Circonférence des portées, 0,722
 Vitesse moyenne des portées en une minute, tours 66,72
 ou en une seconde, 1,112

$$\text{travail du frottement, } 9000 \times 0,054 \times \frac{6672}{60} \times 0,722 = \text{kmt. } 390 = \text{ch. } 5,20_1$$

qu'il faut ajouter au travail du frein pour avoir le travail total des deux machines.

Heures de cheval : 1° à 112 ch. =	h. 0,85	95,20 heures d'un cheval.
Id. 2° à 148,50 =	0,65	96,52
Id. 3° à 145,60 =	1,85	269,36
Id. 4° à 149,11 =	0,33	49,30
Id. 5° à 154,50 =	0,52	100,34
Total des heures de travail, h. 4,20		610,72 heures d'un cheval.

Avec de la vapeur à 3 at. 1/2 et la méthode de calcul qui précède, on trouve pour la puissance des deux machines de Rollepot réunies : chevaux-vapeur 142, en comptant l'effet utile à 0,60 du travail brut.

On a brûlé en 4 heures 11 min. 17 hectol. de houille à 76 k. 60 l'un, en moyenne, soit 1302 kil.

Ce serait $\frac{1302}{610}$ ou 2 k. 13 par heure et par cheval ; mais il y

a encore quelque chose à déduire, attendu qu'une grille sur quatre était du système Tailfer, qui, nous a-t-on dit, dépense là plus de houille et produit moins de vapeur que les autres, dans le rapport de 9 à 13. En admettant seulement 0,20 de différence de dépense d'une grille à l'autre, il y aurait à peu près 0,5 p. 100 à déduire de la houille brûlée en une heure, et l'heure serait réduite à 2 k. 02.

Résultat du calcul : travail utile de deux machines à 3,5 atm. et à 0,60 d'effet utile. 142 chevaux.
8 novembre 1856.

722. *Théorie et formules de M. de Pambour.* — M. de Pambour a proposé pour le calcul des machines à vapeur des lois auxquelles la gravité de la question débattue et la réputation si étendue de l'auteur donnent une grande importance. Ces formules sont destinées à remplacer celles de M. le général Poncelet, que M. de Pambour dit avoir été utiles dans la pratique, mais n'être pas générales. Elles reposent, ajoute-t-il, sur un principe faux, celui qui donne pour point de départ au calcul du travail utile, développé par une machine à vapeur, la pression observée dans le générateur, en corrigeant ensuite les résultats du calcul, au moyen de certains coefficients à peu près constants, pour un

même système de machines, dans le même état d'entretien, coefficients déduits de la comparaison des résultats des formules, avec ceux donnés par la pratique et par le frein, méthode que l'on a appliquée si avantageusement aux autres moteurs.

Suivant M. de Pambour, le travail développé par une machine à vapeur ne peut pas être conclu de la pression qui a lieu dans la chaudière, parce que, soit au moyen d'appareils à la disposition du machiniste, soit en diminuant la charge, et augmentant ainsi la vitesse, on peut, avec la même pression dans la chaudière, faire travailler une machine sous des charges variables à volonté, dans des limites très-étendues. Il observe qu'il y a souvent des différences de pression, portées quelquefois de 3 à 1, entre le générateur et le cylindre, différences dont le coefficient ne peut pas tenir compte. Enfin ces différences ne sont pas seulement des cas extraordinaires et rares, dus à de mauvaises dispositions de construction ou de conduite, mais l'état normal et nécessaire de toutes les machines qui, pour bien marcher et faire rondement face aux excès imprévus de travail, sont forcément réglées, avec la soupape à gorge en partie fermée, et un excès de pression dans le générateur; il doit de plus y avoir inévitablement des erreurs dans les formules qui donnent des résultats souvent trois fois trop forts, et qu'il faut à peu près arbitrairement corriger par des coefficients qui varient de 0,50 à 0,30, et plus du travail total.

723. *Bases adoptées par M. de Pambour.* — Suivant M. de Pambour, ce qui sert de règle et de mesure à la puissance d'une machine, c'est la quantité de vapeur développée par le générateur, et, par conséquent, la quantité de combustible brûlée dans l'unité de temps, c'est-à-dire la *puissance de la vaporisation*. Pour calculer la force d'une machine, l'auteur détermine, d'une part, la résistance totale qui agit derrière le piston en sens contraire de son mouvement, et qui se compose de l'effet utile donné par le frein, par exemple, et de toutes les résistances passives, pertes de vapeur, etc. Il a déterminé ces résistances dans les locomotives par des expériences directes sur l'effort

qu'elles exigent pour marcher à vide, ou pour donner au piston sa vitesse sans charge; et dans les machines fixes, par leur comparaison avec les résultats des locomotives, et des considérations du même genre. Il détermine, d'un autre côté, la pression réelle sur le piston, dans le sens du mouvement, au moyen de la quantité de vapeur produite et de la vitesse du piston, qui est réglée seulement par la charge de la machine et par la production de vapeur, cette pression de la vapeur étant nécessairement égale à la somme des résistances, sans quoi il y aurait accélération de mouvement.

724. *Défaut de ces formules en pratique.* — Laissons aux maîtres la discussion théorique; mais la question pratique doit nécessairement trouver ici sa place.

M. de Pambour, dans un beau et bon travail sur les locomotives, a vu la vitesse et la force de ces machines n'avoir de règle et de limite que la puissance de vaporisation du générateur. C'est que là, en effet, le nombre des coups de piston peut varier sans inconvénient, et que la plus grande vitesse possible est le but principal, auquel on sacrifie le rendement utile. Il a déduit de ces observations des formules, qui donnent sans difficulté la force des machines, au moyen de la charge du convoi, de sa vitesse, et des résistances spéciales du moteur, déterminées directement, et au moyen de la quantité de coke brûlé, et de sa production de vapeur : toutes données faciles à observer dans des locomotives à peu près semblables de construction.

Mais dans les machines fixes auxquelles M. de Pambour a ensuite appliqué ses observations et les formules spéciales des locomotives, les conditions ne sont plus les mêmes.

La vitesse du piston y est presque invariable; car il faut conduire les outils à leur allure normale, et le but principal étant le rendement utile, cette vitesse doit être celle qui donne le maximum d'effet. Les appareils producteurs de la vapeur étant ordinairement trop forts, c'est la charge et la vitesse toujours constantes qui règlent la pression du cylindre et par suite celle

de la chaudière, dans un rapport nécessaire déterminé par les dimensions des tuyaux et passages.

Ainsi dans les machines fixes, tout est combiné pour donner le plus grand effet utile; dans les locomotives, tout est sacrifié à la vitesse et à la légèreté; les dernières, admirables de conception et de résultats pratiques, ne sont pas au premier rang des machines pour l'effet utile, et donnent, à combustible égal, deux fois moins de travail que les machines à deux cylindres. Les locomotives sont rarement chargées à leur maximum de puissance, même dans les convois de marchandises, car la vitesse se trouverait tout à fait sacrifiée; et afin d'obtenir un travail plus actif, plus régulier, et un plus grand approvisionnement de vapeur, toujours dans un but de vitesse, on maintient forcément de grandes différences de pression entre la chaudière et les cylindres.

Les machines fixes sont presque toujours chargées à leur maximum de puissance, et souvent au delà : on a donc intérêt à employer sur les pistons la vapeur à la pression la plus élevée, pour laquelle elles sont construites, et qu'autorise le timbre du générateur, afin d'obtenir, à l'aide de la détente maximum, le maximum de travail et les moindres pertes de force vive : on donne par conséquent le plus libre passage à la vapeur jusqu'au piston, et la moindre différence de pression entre le cylindre et la chaudière.

Ces différences sont fondamentales : et comme l'a fait remarquer judicieusement M. le général Poncelet, les locomotives, par les conditions nécessaires de leur service, par des vitesses de piston trop grandes pour donner le maximum d'effet, par des charges au-dessous de leur maximum de puissance, par des détentes trop faibles, ne réunissent pas tous les éléments du plus grand rendement utile. De pareils instruments ne peuvent évidemment pas servir de type, et fournir des formules et des règles pour des machines installées dans les meilleures conditions de construction, de charge complète, et de vitesse normale et qui donnent le plus grand effet possible, à des machines, en un mot, qui sont dans l'état le plus parfait pour un système donné.

La règle et le principe sont toujours pris sur les objets les plus parfaits ; on travaille ensuite à en rapprocher les autres : et pour appliquer aussi facilement aux locomotives et aux machines du Cornouailles la méthode de M. Poncelet, il faudrait seulement déterminer leurs coefficients, ce qui est facile.

725. *Comparaison des deux méthodes en pratique.* — Si maintenant nous comparons ces deux systèmes de calcul, comme instrument pratique, destiné à déterminer la force d'une machine fixe dans un atelier, nous reconnaissons bien vite que les formules de M. de Pambour ne peuvent être comparées à celles de M. Poncelet, ni pour la rigueur des résultats directs, ni pour la facilité des observations nécessaires, ni pour la simplicité des calculs. M. de Pambour a besoin, pour calculer la force d'une machine fixe, des dimensions du cylindre, de la vitesse du piston, de la quantité de houille brûlée à l'heure. Il lui faut encore la puissance de vaporisation de la chaudière et du fourneau, qui varient souvent dans les rapports de 4 à 8.

Il lui faut de plus des données et des déterminations d'effet utile et de résistances passives, fondées sur des analogies incertaines, pleines d'erreurs, et sans lesquelles rien ne peut être déduit. Il faut des calculs assez longs, et que bien des industriels ne pourraient pas exécuter.

Le général Poncelet ne demande à l'observateur que quatre choses, toujours présentes aux yeux, et notées en un instant sans erreur possible : 1° la pression dans le générateur donnée par le manomètre ; 2° le diamètre du piston ; 3° sa vitesse ; 4° un jugement facile à porter sur l'état d'entretien de la machine pour le choix de son coefficient. Là, rien d'incertain ni de contestable.

En pratique il n'y a que deux questions posées sur la force des machines : 1° calculer le travail normal maximum que peut donner une machine de dimension fixe, à sa charge maximum, à la pression de règle du générateur et dans les meilleures conditions de son système ; 2° déterminer le travail actuel que fournit une machine, avec une charge donnée, et dans son état spécial.

M. de Pambour ne peut pas résoudre la première question,

sans des hypothèses qui ne permettent pas de prévoir d'avance la force, ni de calculer les dimensions nécessaires d'une machine.

Et pour la seconde, les observations dont il a besoin sont toujours très-difficiles, et souvent impossibles à obtenir : on sait quelles précautions et quel temps sont nécessaires pour mesurer avec certitude le combustible consommé par une machine : la connaissance des quantités d'eau évaporée est encore bien plus difficile à obtenir. Que sera-ce, si une machine prend sa vapeur sur plusieurs chaudières accouplées, dont les produits sont en partie employés à des bains de teinture, à des évaporations, etc.?

Avec la méthode de M. Poncelet, il n'est pas de manufacturier ou de mécanicien qui ne résolve sans difficulté et sans erreur toutes ces questions.

726. *La différence de pression du générateur au cylindre est-elle une cause d'erreur dans la méthode des coefficients?* — Une objection faite, comme nous l'avons dit, à la méthode de M. le général Poncelet par M. de Pambour, c'est qu'il y a souvent des différences considérables de pression entre le générateur et le cylindre, et qu'alors le coefficient, quel qu'il soit, doit donner des résultats inexacts. Ces différences ne sont pas un état extraordinaire et passager des machines, mais l'état normal de celles du Cornouailles, et avec les machines fixes ordinaires, pour obtenir une marche régulière et constante, et faire face aux accroissements de charge qui peuvent survenir, il est nécessaire de tenir toujours la soupape à gorge en partie fermée, et, par suite, la vapeur de la chaudière plus haute en tension que celle du cylindre, sans quoi la machine serait ralentie, ou arrêtée à la moindre résistance additionnelle.

Ces pertes de pression, dit M. de Pambour, ne sont pas des pertes inutiles, ce ne sont même pas des pertes, l'augmentation du volume de la vapeur et de la vitesse du piston compensent la diminution de pression. Or, suivant M. de Pambour, ses formules tiennent compte de ces différences, et celles de M. Poncelet les laissent de côté.

La bonne marche d'une machine exige en effet que, par la

fermeture partielle de la soupape à gorge, il y ait dans le générateur un léger excès de pression sur le cylindre, bien moins pour soutenir les excédants d'une charge, qui, très-souvent, reste constante, que pour maintenir régulière la marche de la machine dans les légères variations en moins que présentent le feu et la tension de la vapeur. Nous avons, il y a déjà quinze ans, signalé ce besoin dans le *Guide du chauffeur*; mais cette différence doit être légère, et il y aurait perte à employer sans nécessité de la vapeur à deux atmosphères sur le piston, quand on la produit à quatre; il est évident qu'il y a alors un grand avantage à réduire la longueur de l'introduction à pleine pression, et à augmenter la détente. C'est le bénéfice que donne la détente variable.

Dans les machines du Cornouailles, les différences de pression sont, sans aucun doute, plus remarquables sur les machines faiblement chargées que sur celles qui ont leur plein travail; elles ont pour objet principal de maintenir dans la chemise du cylindre une haute température, pour réduire en vapeur et utiliser au travail les quantités importantes d'eau entraînée liquide par la vapeur, c'est-à-dire pour corriger un défaut de leurs générateurs, dont les réservoirs de vapeur sont beaucoup trop petits.

Avec les machines bien proportionnées, où les passages sont suffisants et la charge au maximum, il n'existe entre la pression dans le générateur et celle du cylindre qu'une différence faible, nécessaire pour déterminer le mouvement de la vapeur et assurer la bonne marche de la machine; la théorie détermine la loi de cette différence, en raison des dimensions des passages et tuyaux. M. le général Morin en a fait l'objet d'expériences et de calculs très-complets.

727. *Précautions à prendre pour mesurer la pression nécessaire au calcul d'une machine à vapeur.*—Mais quand on veut déterminer la force d'une machine à vapeur par la méthode des coefficients, on ne prend pas la pression du générateur avec la soupape à gorge, en partie fermée, et une différence importante et inutile de pression, mais on prend cette pression avec la soupape

à gorge presque entièrement ouverte, et en réduisant la différence à celle nécessaire au mouvement, qui alors est comprise dans les pertes données par le coefficient. Il faut pour cela essayer une machine, la soupape presque ouverte et à sa pleine charge, pour la pression de vapeur obtenue. Si la machine est à son maximum de charge, la pression doit être élevée au degré de règle de la chaudière, et le nombre de coups de piston observé, qui peut, sans inconvénient pour le rendement utile, varier dans des limites de huit à dix pour cent, donnera la force exactement employée. .

Quand la machine est peu chargée, on laisse tomber la pression de la vapeur, jusqu'à ce qu'elle enlève exactement à sa vitesse normale la charge actuelle de la machine, qui devient alors une *charge maximum* pour la pression donnée, ce qui conserve toute leur exactitude aux coefficients.

728. *Exactitude de la méthode du général Poncelet.* — Ainsi les formules de M. Poncelet, avec leurs coefficients déduits de nombreuses et complètes expériences, susceptibles de corrections avec de nouveaux résultats, n'exigent que des observations faciles et sûres de pression au manomètre, de diamètre et de vitesse. Quant à leur exactitude, les ingénieurs qui ont mesuré la puissance d'un grand nombre de machines à vapeur et fait beaucoup d'essais au frein sont assurés que les coefficients représentent exactement les faits, et donnent le rapport certain entre la puissance totale dépensée et l'effet utile obtenu : on a pu juger plus haut de cette exactitude dans le calcul de la machine de 12 chevaux, à deux cylindres, de la meilleure construction, pour laquelle le frein nous a donné 46,5 p. 100 d'effet utile, quand les tables faites en 1827, époque où les machines étaient moins bien ajustées, ont donné 42,7 p. 100; c'est ce qui m'a fait porter ce coefficient rectifié à 45 p. 100. Cette méthode, qui porte le cachet de pratique et de rigoureuse exactitude du maître, continuera à rendre d'immenses services à l'industrie.

729. *Effet utile des machines à vapeur et coefficients.* — Lorsque l'on calcule la puissance théorique d'une machine à vapeur par

les formules que nous donnons, l'on ne tient compte ni des pertes de pression de vapeur dues au passage des tuyaux, robinets et glissières, ni des pertes de vapeur par les pistons, derrière lesquels est souvent le vide, ni des frottements de toutes les pièces de la machine, et surtout celui des pistons contre les cylindres, qui est considérable, ni de la force nécessaire pour monter l'eau destinée à la condensation, etc. ; en un mot, on ne tient pas compte de toute la force dépensée inutilement en frottements de toute espèce, et qui n'entre pour rien dans l'effet utile des machines.

Or, ce qu'on a besoin de savoir, c'est la puissance nette que la machine peut fournir, puissance utilisable immédiatement à *un travail industriel* au bout de l'arbre du volant.

Pour connaître exactement cette puissance, il faut calculer toutes les pertes de force inutiles, et les retrancher du travail total de la vapeur. Le reste sera l'effet utile ou le produit net de la machine.

L'expérience et l'examen suivi des machines, confirmés par le calcul de ces pertes, nous apprennent que l'effet utile des principaux systèmes de machines à vapeur est au travail total de la vapeur à peu près dans les rapports contenus au tableau suivant, qui donne tous les coefficients déterminés par M. Poncet : c'est-à-dire qu'une machine de 4 à 8 chevaux, à basse pression, en bon état, par exemple, rend 50 p. 100 d'effet utile, et perd, par conséquent, moitié de sa force brute en frottements, etc.

730. Effet utile des diverses machines à vapeur.

FORCE DES MACHINES.	MACHINES A BASSE PRESSION		MACHINES A HAUTE ET MOYENNE PRESSION	
	en bon état.	en état ordinaire.	en bon état.	en état ordinaire.
	Machines de 4 à 8 chevaux.	0,50	0,42	0,40
Id. de 10 à 20 id.	0,56	0,47	0,45	0,45
Id. de 30 à 50 id.	0,60	0,54	0,50	0,45
Id. de 60 à 100 id.	0,65	0,60	0,60	0,55

On trouvera plus loin, dans l'analyse du cours de mécanique du général Morin, de nombreux résultats d'expériences sur cette question.

731. *Applications.* — Ainsi, pour avoir l'effet utile de la machine à basse pression dont nous avons parlé, il faudra multiplier le travail de la vapeur que nous avons trouvé égal à 516 km. par 0,50, parce que la machine est faible, et l'on trouvera qu'il est égal à 258 km.

Quant à la machine à deux cylindres dont nous avons trouvé la puissance totale de vapeur égale à 2264 km., si nous n'avions pas eu l'essai au frein pour déterminer rigoureusement son effet utile et reconnaître qu'il est de plus de 46 p. 100, nous aurions multiplié les 2264 km. par 0,45, qui nous auraient donné 1019 km. ou 13 1/2 chevaux. On voit que la machine de 12 chevaux de M. Lacroix, de Rouen, que nous avons essayée, était bien construite et bien entretenue.

Ces nombres ne représentent pas l'effet utile des machines à vapeur d'une manière parfaitement exacte, parce que cet effet utile varie avec la construction, la conduite et les soins d'entretien des machines. Mais ils permettront de constater, à peu de chose près, la force des moteurs que l'on emploie, et cette approximation est tout à fait satisfaisante dans les ateliers.

732. *Expression commune de la force des machines. Force en chevaux-vapeur.* — Nous avons évalué la force de toutes les machines en une mesure constante de 1 kil. élevé à 1 m. ou 1 km. C'est en effet une mesure rigoureuse, à laquelle on rapporte facilement tous les autres genres de travail. Mais il faut encore parler ici de la mesure générale partout adoptée dans le calcul de la puissance des machines à vapeur. Cette puissance était originairement égale à celle d'un *fort cheval attelé au manège, et donnant, pendant quelques instants, un coup de collier.* Aussi elle représente un travail que le plus fort cheval ne soutiendrait pas une heure de suite.

Les mécaniciens ont donné des évaluations diverses de cette force du cheval-vapeur, et l'ont fait varier depuis 60 k. jusqu'à 80 k. ou 90 k. élevés à 1 m. en une seconde. On avait même proposé comme mesure métrique 100 k. élevés à 1 m.

Quoi qu'il en soit, par suite du besoin que l'on a de s'arrêter à une base fixe, et de partir du même point, on a adopté généralement le nombre 75 km. pour la valeur du cheval-vapeur, qui sert d'unité dans le calcul de la force des machines à vapeur, des roues hydrauliques et des divers moteurs.

Ainsi un moteur dont l'effet utile sera égal à 750 km. aura la force de $\frac{750}{75}$, ou 10 chevaux-vapeur.

La machine à moyenne pression dont nous avons parlé, qui a donné 14562 km. de travail total, et qui, à raison de 50 p. 100 d'effet utile, donne un travail net de 7281 km., présente une force de 97 chevaux-vapeur, etc. En divisant l'effet utile évalué en kilogrammes élevés à 1 m. par le nombre 75, le quotient sera toujours le nombre de chevaux-vapeur qui représentera la force du moteur.

Du frein dynamométrique de Prony.

733. Nous avons dit que l'effet utile d'un moteur, machine à vapeur ou roue hydraulique, pris sur l'arbre de son volant, et

directement utilisable à un travail industriel, était de beaucoup inférieur à la puissance totale développée par le moteur.

C'est l'effet utile que le manufacturier a intérêt à connaître, parce que c'est là pour lui la véritable puissance : c'est donc le rapport de cet effet utile à la puissance totale qu'il est important de déterminer, afin de juger du plus ou moins de perfection des divers moteurs : celui qui, à dépense égale de puissance brute, rend le plus d'effet utile, étant le plus parfait, toutes autres circonstances égales.

Si l'on pouvait faire monter perpendiculairement à l'arbre d'un moteur des poids à une hauteur assez grande, et pendant un temps assez long pour mesurer la vitesse régulière de ces poids, et les espaces parcourus, on aurait directement cet effet utile qui se traduit par un certain poids, élevé à l'unité de hauteur, dans l'unité de temps.

Mais c'est une opération impraticable, même pour de petites machines, et qui ne peut s'appliquer qu'à des modèles en petit, en supprimant toute poulie, toute flexion de corde.

734. *Principe du frein.* — M. Prony a eu l'heureuse pensée de substituer à l'élévation du poids un frottement déterminé sur l'arbre du moteur par des mâchoires, dont le serrage à boulons serait réglé de manière à laisser prendre à l'arbre sa vitesse normale, et à user dans ce frottement toute la force réelle qui peut être utilisée sur cet arbre.

Pour mesurer ensuite rigoureusement la valeur de ce frottement, il a prolongé l'une des mâchoires en levier, et y a suspendu un poids réglé, et suffisant pour maintenir le levier en équilibre sans le laisser tomber, ni sans qu'il puisse être entraîné par l'arbre dans son mouvement de rotation. Il est évident que le poids suspendu au bout d'un levier, immobile, ou oscillant légèrement, mais soutenu en l'air par le frottement des mâchoires sur l'arbre, est rigoureusement dans la même condition que s'il était emporté par l'arbre, avec une vitesse égale à celle qu'aurait son centre de gravité, si tout le système tournait invariablement avec l'arbre.

L'expérience a pleinement confirmé le principe du frein, et le frottement dans lequel est dépensé tout l'effet utile disponible du moteur, et qui lui est égal, est rigoureusement mesuré par le poids total qui agit au bout du levier, multipliant la vitesse par seconde de ce point de suspension, supposé tourner avec l'arbre, à sa vitesse.

C'est un admirable moyen de mesure, dont on fait un grand usage, et qui a déjà rendu de nombreux services, soit pour comparer entre eux la valeur des divers moteurs, soit pour déterminer dans les traités industriels la puissance des machines livrées aux manufacturiers, soit enfin pour terminer beaucoup de procès qui seraient restés presque insolubles.

La rigueur et la certitude des déterminations du frein ne peuvent pas être contestées, et le frein est le seul moyen de mesure à employer dans toutes ces questions. La comparaison des moteurs par la quantité des divers travaux exécutés est en effet inexacte et fautive, parce que la force dépensée pour un même travail varie dans des rapports considérables, par de nombreuses causes impossibles souvent à apprécier.

735. *Observations sur le travail au frein.* — Il y a cependant ici deux observations importantes à faire.

L'une, qui concerne tous les moteurs, est que les manufacturiers et les ingénieurs doivent faire une distinction précise entre les résultats demandés au frein.

Le frein, en effet, donne d'une manière absolue et avec une certitude complète l'*effet utile d'un moteur*; à part les erreurs possibles de l'expérimentateur, il y a détermination rigoureuse et complète d'un fait précis, le *rendement utile* d'un moteur, résultat d'un haut intérêt pour l'industrie.

Mais quand on demande au frein la comparaison de deux moteurs entre eux, les résultats du frein ne sont plus alors les seuls éléments du calcul : il y faut faire entrer d'autres données et d'autres expériences comparatives, comme, par exemple, pour des machines à vapeur, les quantités de charbon consommées dans un temps donné, et pour les roues hydrauliques, les volumes d'eau

dépensés dans l'unité de temps, les résultats de ces expériences au frein deviennent évidemment discutables dans leurs éléments, et n'ont plus le même caractère de certitude mathématique. Si en effet on veut comparer des machines à vapeur entre elles sous le rapport de l'effet utile obtenu et de la quantité totale de travail qu'elles peuvent donner avec une même consommation de combustible, nous avons insisté sur les difficultés que présente la mesure de ces quantités de combustible, et sur la nécessité de prolonger les essais plusieurs jours entiers, ce qui est fort difficile avec le frein, toujours exposé à des échauffements et à des interruptions. Il faudrait encore appliquer aussi le même fourneau et le même générateur au travail des deux machines.

Pour les roues hydrauliques, la mesure du rapport de l'effet utile à la puissance totale dépensée est aussi difficile à déterminer, les moyens de mesure des eaux écoulées en grandes masses étant encore douteux et incomplets.

736. L'autre observation est spéciale aux machines à vapeur. Il est nécessaire de prolonger les essais un temps assez long, le plus long qu'il se puisse obtenir, afin d'avoir les *résultats moyens* avec des forces *moyennes de vapeur*. Je m'explique sur ce point, d'une grande importance dans les essais de ce genre, et qui sera certainement fort utile aux manufacturiers, pour qu'aucune erreur à leur détriment ne se glisse dans ces expériences.

L'essai d'une roue hydraulique se fait toujours à un point parfaitement certain de force appliquée ; c'est avec son maximum d'eau, ou à une ouverture de vanne déterminée, pour donner le maximum d'effet utile, c'est au moins à une ouverture de vanne que l'on maintient fixe pendant l'essai, et avec un niveau constant, ou dont les variations sont facilement constatées. Ces conditions remplies, les quantités d'eau admises sur la roue sont régulières ou très-lentement variables, et selon des proportions connues à chaque instant. Le résultat du frein donne le maximum d'effet produit par chaque dépense d'eau, et ce maximum, avec la même dépense d'eau, s'obtiendra toujours d'une manière certaine dans les mêmes circonstances.

Il n'en est pas tout à fait ainsi avec la vapeur. Il y a là des éléments de puissance plus variables, plus incertains, plus difficiles à apprécier et qui se développent avec une intensité plus grande que dans un moteur hydraulique. D'abord, pour un essai au frein, la chaudière et le fourneau sont nettoyés d'avance, la machine réglée et graissée avec le plus grand soin, la houille choisie de la meilleure qualité : le chauffeur donne une attention particulière à son travail, toutes conditions qui ne subsistent plus dans le service courant de l'atelier; bien plus, à tension égale, il existe une grande différence d'action entre la vapeur qui monte en pression et celle qui descend, entre la vapeur produite dans un fourneau fortement échauffé et celle qui se développe dans un fourneau encore mal en train, etc. A pression égale, il y a une différence notable entre celle que le foyer et le combustible soutiennent avec peine et celle qu'un feu puissant maintient facilement.

Les chauffeurs le savent ; ils savent que dans l'après-midi ils enlèvent plus rondement leur charge avec une pression moindre que celle qui leur était nécessaire pendant la matinée. Des essais de machines à vapeur, au frein, qui seraient trop courts ou exécutés sans des précautions suffisantes, accuseraient un maximum de produit utile, que le moteur donne dans les meilleures circonstances, mais non pas un travail retrouvé couramment pendant toute l'année même avec une machine et un foyer bien entretenus.

Il faut donc prendre garde d'obtenir des résultats trop forts, avec le frein appliqué aux machines à vapeur.

737. *Description du frein.* — Le frein employé le plus ordinairement est formé par un manchon de fonte, tourné à sa circonférence, d'un diamètre qui varie de 0,45 à 0,70, suivant la force et la vitesse des moteurs à essayer (pl. 18, fig. 46 et 47). On passe le manchon sur un arbre de volant, ou sur un arbre de couche, si on ne peut pas le placer sur celui du volant; il faut, autant que possible, placer le frein sur ce dernier, pour ne pas perdre une portion de l'effet utile dans les frottements des engrenages et

des arbres, ce qui serait au détriment de la qualité constatée des moteurs, ou difficile à déterminer avec certitude par le calcul.

On fixe très-solidement le manchon sur l'arbre, par des vis de pression acérées, qui y pénètrent, et il est bon, quand la machine est puissante, ou qu'elle a peu de vitesse, de remplir l'intervalle entre le manchon et l'arbre de fortes calles en bois de chêne, lardées de calles en fer. Avec ces précautions le manchon ne peut pas tourner.

Quand l'arbre est ainsi armé d'un manchon de fonte, on ajuste sur ce manchon un levier, fait avec une longue pièce de chêne ou de sapin de 0 m. 19 à 0 m. 22 d'équarrissage, et de 2 m. 50 ou 3 m. de longueur; le levier est fixé sur l'arbre par un collier en fer forgé *cc*, dont les deux bouts sont taraudés en boulons, et serrés sur le levier par deux forts écrous, et des rondelles de fer qui empêchent les écrous de s'imprimer dans le bois.

La mâchoire inférieure du frein se fait aussi avec une courte pièce de chêne, liée au levier par deux ou quatre boulons qui serrent sur des platines en fer.

Une corde empêche le levier de s'enlever si l'on serre trop fortement les écrous, et un petit tréteau ou une autre corde s'oppose à ce qu'il retombe si l'on donnait trop de jeu au système. On ne laisse ainsi au levier que peu de course libre, pour le maintenir toujours à peu près horizontal, et ne pas s'exposer à renverser, par des secousses, les poids placés sur le plateau de balance. A l'endroit du collier le levier est armé d'un coussinet en bois, qui embrasse l'arbre sur une largeur de 0 m. 40 environ, et pour que le frottement de ces deux surfaces l'une sur l'autre n'enflamme pas le bois, on les arrose d'eau froide pendant toute la durée de l'expérience.

738. *Manœuvre du frein.* — L'appareil étant ainsi disposé, on calcule d'avance le poids dont il faut charger le plateau de balance pour obtenir les douze chevaux de force, si c'est la force à trouver, au moment où, la machine étant à sa vitesse de règle de 27 coups par minute, le levier se maintiendra en équilibre et

horizontal. Pour cela, nous avons dit que l'effet utile de la machine essayée est égal au poids suspendu en i , multipliant la vitesse par seconde qu'aurait le point i , si le levier était fixé invariablement sur l'arbre de la machine, et tournait avec lui.

Si donc le poids est égal à 80 k., et que le rayon du levier soit de 4 m., la circonférence décrite par le point i en tournant avec l'arbre, ou la circonférence dont ie est le rayon, sera égale au double de $ie = 8$ m., multipliant $3,1416 = 25$ m. Comme l'arbre de la machine fait vingt-sept révolutions par minute, le point i parcourra en une minute 27×25 m. ou 675 m., soit en une seconde $\frac{675}{60} = 11$ m. 20. L'effet utile de la machine sera égal à 80 k. \times l'espace parcouru en une seconde 11 mètr. 20 = environ 900 km. Divisant 900 par 75, on a douze chevaux-vapeur pour la force utile de la machine.

On remarquera que dans les 80 k. qui forment le poids d'épreuve suspendu au bout du levier, à 4 m. du centre de l'arbre, sont compris 1° le poids du plateau de balance; 2° le poids du levier au point i , c'est-à-dire le poids mesuré avec un peson ou un dynamomètre, qui soutiendrait en i le levier quand il est posé sur une pièce de bois étroite en e , à l'endroit qui doit porter sur l'arbre. En un mot, le poids de 80 k. représente tout le poids qu'enlève le frottement donné par le serrage des écrous.

Pour régler d'avance ce poids, afin qu'il soit équivalent à la force de la machine, on fait de nouveau, en commençant par la fin, le calcul que nous avons fait plus haut. Les 12 chevaux, à 75 km. par cheval, donnent 900 km. La vitesse du point de suspension sera, comme nous l'avons calculée, de 11 m. 20 par seconde. Divisant 900 kil. par 11 m. 20, on trouve 80 k. pour le poids total à mettre en i ; on pèse alors le bout du levier, et le plateau de balance, s'il y en a un, car le poids rapporté au point de suspension du poids agit comme une partie intégrante du poids actif, et en les supposant tous deux ensemble égaux à 40 k., il faut ajouter seulement 40 k. pour compléter les 80 k.

On place 40 kil. sur le plateau de balance, on met la machine à vapeur en mouvement à sa vitesse de régime. On serre les écrous jusqu'à ce que le frottement devienne assez considérable pour enlever le levier et le tenir en équilibre. A mesure que le frottement augmente, la machine se ralentit; on ouvre un peu le robinet régulateur pour la maintenir à sa vitesse de 27 coups par minute. D'un autre côté, on règle le serrage des écrous, pour que le levier ne s'enlève pas par un serrage trop fort, et ne retombe pas quand l'écrou n'est pas assez serré. Un ouvrier, avec une longue clef, règle facilement la marche du levier. Quand il est tenu en équilibre, c'est-à-dire quand le frottement du collier sur l'arbre fait équilibre à la charge du levier, que nous avons vue égale à toute la charge de la machine à vapeur, et que celle-ci a atteint sa vitesse de régime, elle développe une quantité de travail réel égale à douze chevaux-vapeur, avec la pression et l'ouverture du robinet sous lesquelles elle travaille pendant l'essai : ou si l'essai au frein se fait sur une roue hydraulique, avec la chute et l'ouverture de vanne prises au moment de l'expérience. Nous avons dit combien il était important de faire ces essais, le robinet régulateur presque complètement ouvert.

L'essai au frein des machines à vapeur de grande force peut s'opérer sans difficulté, au moyen de plusieurs freins employés simultanément. On se sert aussi du frein pour constater la quantité de force qui reste disponible sur une machine, quand elle fait un travail déterminé, et aussi pour reconnaître la valeur de ce travail.

Pour cela, on fait d'abord un essai prolongé au frein, sans charge aucune sur la machine. Puis on fait un second essai avec la charge ordinaire de la machine, en donnant à enlever au frein les poids nécessaires pour ramener la machine à sa vitesse de régime. La différence des deux résultats est la puissance employée par le travail courant. Le second essai donne la force encore disponible.

739. *Du frein portatif et du dynamomètre du général Morin.* — Depuis quelques années on a fait un usage très-fréquent du frein

de Prony; peu de modifications y ont été apportées. Il y a aussi un frein portatif de M. Morin, qui nous a paru très-simple. M. le général Morin, dans ses beaux travaux, a fait construire des dynamomètres qui non-seulement mesurent la quantité de travail faite par le moteur, ou transmis par l'axe d'une machine, mais encore l'inscrivent sur une feuille de papier avec ses variations successives. Le principe de ces dynamomètres a été trouvé par le général Poncelet. Notre plan tout pratique ne nous permet pas d'entrer dans ces détails.

Il est à désirer que l'emploi du frein et celui des instruments de mesure du même genre, encore trop difficiles à employer, trop rares et qui demandent quelques soins pour être utilisés avec succès, se répande dans tous les ateliers : c'est jusqu'ici le seul moyen sûr et régulier de reconnaître la force des moteurs.

TROISIÈME PARTIE.

ACCIDENTS QUI ARRIVENT A CHACUNE DES PIÈCES DES MACHINES, LEURS SYMPTÔMES ET LEURS REMÈDES.

Pompe alimentaire.

740. *Alimentation.* — Après avoir indiqué, comme nous l'avons fait dans notre premier volume, les meilleures dispositions à donner aux chaudières et aux fourneaux qui produisent la vapeur, et aux principaux appareils de chauffage, nous parlerons des pièces qui composent la machine proprement dite, et nous commencerons par celles qui fournissent de l'eau aux chaudières à mesure qu'elles se vident; et en suivant la marche de la vapeur, nous nous occuperons successivement des pièces dans lesquelles elle développe son action.

Nous prendrons pour base première chaque pièce de la machine à deux cylindres, le système le plus complet de ceux que nous étudions ici, et nous développerons ensuite ce qui peut regarder les autres systèmes, quand ils donneront lieu à des observations particulières.

L'alimentation des chaudières est un des objets qui exigent l'attention et la surveillance la plus soutenue. D'un côté, cette alimentation doit être régulière, soit pour éviter que la chaudière ne reste à sec et ne vienne à brûler ou à faire explosion, accidents dus presque toujours à une mauvaise alimentation, soit pour

ne pas diminuer tout à coup la pression de la vapeur, par l'injection subite d'une trop grande quantité d'eau froide; d'un autre côté, les pièces employées à cette alimentation sont sujettes à de fréquents dérangements. Pour obtenir une alimentation continue, on emploie des appareils qui entretiennent dans la chaudière un niveau constant, en y introduisant autant d'eau que la machine consomme de vapeur.

741. *Alimentation continue à basse pression.* — Dans les machines à basse pression et dans tous les chauffages à vapeur sans pression, l'appareil (dont nous donnons le tracé, tome 1^{er}, pl. 40, fig. 173) consiste en une soupape conique ordinaire, placée au fond d'un réservoir, et attachée par un fil de cuivre à l'extrémité d'un balancier qui soutient, de l'autre côté, une pierre destinée à servir de flotteur à la chaudière. Cette soupape ferme le tuyau qui conduit l'eau du réservoir au fond de la chaudière : quand le flotteur vient à baisser avec le niveau du générateur, il soulève la soupape, et ouvre passage à l'eau du réservoir, qui descend par le tuyau d'alimentation. On place le réservoir à 2 m. 30 ou 3 m. au-dessus du générateur, hauteur assez grande pour que le poids de la colonne d'eau puisse vaincre la tension à laquelle on travaille ordinairement.

742. *Alimentation continue à haute pression.* — Dans les machines à moyenne et à haute pression, où la chaudière est alimentée par une pompe foulante, l'appareil d'alimentation continue est le plus souvent un petit piston plein attaché au balancier du flotteur, et qui, baissant avec lui, ouvre le tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire, et permet à l'eau d'entrer dans la pompe. Quand la chaudière se remplit, le flotteur remonte avec le piston qui ferme le tuyau d'aspiration. Ce piston règle ainsi la marche de la pompe alimentaire, au moyen de tuyaux qui y amènent l'eau du condenseur, et la reconduisent ensuite sous les soupapes de la pompe; mais ces tuyaux sont si longs, et les cylindres qui glissent à frottement dans une douille sont si exposés à être arrêtés par la rouille ou par les ordures, que cet appareil se déränge à tout moment, et n'offre aucune sécurité

pour la régularité d'un service aussi important ; il faut le supprimer entièrement, et régler l'alimentation de la chaudière d'après la marche du flotteur et des autres moyens d'indication du niveau d'eau, en ouvrant et fermant à la main le robinet du tuyau d'aspiration.

743. *Inconvénients de cet appareil à niveau constant.* — D'abord, l'eau étant obligée de faire trois fois le chemin de la machine à la chaudière, dans des tuyaux d'un petit diamètre, qui puisent presque toujours dans le condenseur un liquide chargé de graisse, il en résulte des engorgements fréquents. Il faut démonter ces longs tuyaux, ce qui ne s'opère jamais sans déchirer les soudures ; et alors l'air aspiré arrête l'alimentation.

Cet appareil est presque toujours placé à l'extrémité du balancier qui porte le fil de cuivre du flotteur, et lorsque la pompe alimentaire se déränge et ne fonctionne plus, le petit piston touchant au fond de son cylindre, empêche le flotteur de baisser et n'indique plus au chauffeur le dérangement de la pompe et le dangereux épuisement de la chaudière. Quand, au contraire, l'alimentation est réglée par un robinet manœuvré à volonté par le chauffeur, on ne peut pas être induit en erreur par l'immobilité du flotteur.

Si l'on emploie un piston à alimentation continue, il vaut mieux le placer à l'autre extrémité du balancier : si la chaudière se vide, le flotteur continue à descendre, et le piston finit par s'échapper du cylindre.

En définitive, cet appareil demande aux chauffeurs autant de soins et de surveillance que lorsqu'ils règlent eux-mêmes la marche de l'alimentation, et ne leur présente pas des moyens aussi sûrs de se guider ; il encourage la plus dangereuse négligence, en leur inspirant une fausse confiance dans la régularité de l'alimentation, de sorte que ces appareils doivent être rejetés partout.

Nous conseillons donc de laisser au chauffeur seul le soin d'ouvrir et de fermer le tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire, en se réglant sur le niveau de l'eau dans la chaudière, constaté avec certitude par les moyens que nous avons donnés,

c'est-à-dire par les flotteurs et les sifflets d'alarme, tome I, (542 et 571).

744. *Régularité nécessaire dans l'alimentation.* — Tous les procédés essayés dans ce but ont le danger de priver le générateur de la surveillance continue du chauffeur, sans le garantir contre les chances d'accidents.

Pour éviter dans la chaudière un trop grand refroidissement, qui peut diminuer tout d'un coup la pression de la vapeur et rendre irrégulière la marche de la machine, le chauffeur doit alimenter peu et souvent, sans attendre, pour ouvrir le robinet du tuyau d'aspiration, que le flotteur soit entièrement baissé. Les variations de niveau du flotteur ne doivent pas aller au delà d'un décimètre; nous les avons indiquées par des lignes ponctuées. Les chauffeurs peuvent aussi régler, par tâtonnement, le robinet d'aspiration, de manière à entretenir constamment l'eau de la chaudière au même niveau; ils ne doivent cependant jamais négliger d'examiner souvent le flotteur, et de le faire marcher à la main, afin de s'assurer que la pompe alimentaire fonctionne bien.

745. *Pompe alimentaire de M. E. Bourdon.* — Nous donnons (*pl. 14, fig. 34*) les détails de la pompe alimentaire de la machine horizontale de M. Bourdon, dont l'élévation se trouve dans l'élévation générale de la machine (*pl. 11*). Cette pompe est très-simple; les soupapes, qui sont coniques et qui reposent sur un siège alaisé et rodé, peuvent être visitées sans rien démonter: c'est la première condition de toute pompe alimentaire et aussi de toute pompe à eau. La levée des soupapes est de 0 m. 018 ou 0,020.

M. Bourdon fait, pour les machines verticales, des pompes alimentaires aussi bien entendues. Les deux clapets sont placés à droite et à gauche du corps de pompe; chacun d'eux peut être visité au moyen d'un chapeau tenu par une vis et un étrier. Les tuyaux d'aspiration et de refoulement sont munis chacun de leur robinet, et le tuyau de refoulement porte en outre une soupape de sûreté, qui sert à évacuer au dehors l'eau refoulée par la pompe, quand le tuyau s'engorge, ou que par erreur on fait fonctionner la pompe, avec le robinet de refoulement fermé.

Dans toutes ces pompes le nettoyage des soupapes est évidemment très-facile, et leur tête carrée leur permet de recevoir un vilbrequin, au moyen duquel le rodage est prompt et parfait. Toutes sont à plongeur plein en fonte ou en bronze, tourné et guidé par le presse-étoupe du corps de pompe qui a un diamètre supérieur à celui du piston, qui n'est par conséquent tenu que dans l'anneau du fond du stuffingbox.

Lorsque cette pompe alimentaire est fixée à une machine verticale à balancier, la tringle de commande est assez longue et assez flexible pour que le presse-étoupe maintienne le plongeur perpendiculaire dans sa course; mais, avec des machines horizontales, la bielle est beaucoup plus courte, et alors elle est commandée par un excentrique ou un système analogue.

746. *Pompe alimentaire de M. Séguier.* — Le mode de construction des pompes a la plus grande influence sur la régularité de l'alimentation; la plupart de celles que l'on emploie ont des défauts graves. M. Séguier s'est beaucoup occupé de cette question, il a signalé leurs principaux défauts :

Construction mal soignée et d'une exécution difficile;

Clapets de mauvaises dimensions et mal placés;

Vérification et nettoyage longs et incomplets;

Rodage impossible à bien faire;

Forme qui permet souvent à l'air de s'y accumuler et d'en arrêter le jeu.

Il a donné, en conséquence, une disposition de pompe où tous ces défauts sont évités, où la visite et le nettoyage des clapets se font en un instant, où leur rodage peut être très-bon : nous n'en connaissons pas de meilleure.

747. *Dérangements de la pompe alimentaire.* — Plusieurs accidents gênent le travail des pompes alimentaires : la graisse du condenseur, les étoupes, des morceaux de mastic rouge ou d'autres ordures peuvent s'arrêter dans les soupapes, quoique l'on mette ordinairement à l'entrée du tuyau d'aspiration une pomme d'arrosoir, et que l'on ait soin de la nettoyer souvent pour n'en pas laisser engorger les trous; les soupapes se soulèvent

quelquefois et ne retombent pas à leur place; elles s'usent, ne ferment plus, et demandent à être rodées; d'autres fois le tuyau d'aspiration est engorgé ou rompu. Quelle que soit la cause du dérangement, on s'en aperçoit facilement, lorsque le niveau de l'eau baisse dans le générateur, quoique le robinet d'aspiration soit ouvert; ce qui est montré par le flotteur ou les autres appareils de ce genre; ou lorsque l'on n'entend plus le bruit des soupapes et que le tuyau d'injection, qui est toujours froid, c'est-à-dire à la température de l'eau du condenseur, quand la pompe fonctionne bien, devient brûlant, parce que l'eau de la chaudière, n'étant plus refoulée, l'échauffe très-fortement : c'est un des signes les plus sûrs à consulter.

748. *Tuyau de refoulement et plongeur.*—Lorsque le tuyau de refoulement a plus de 0 m. 027 de diamètre et qu'il n'a pas de contre-pentes, ce qui du reste est favorable à un bon service, il s'y produit quelquefois de doubles courants pendant que la pompe ne fonctionne pas, et il s'échauffe sans qu'il y ait pour cela dérangement dans la pompe. Ce phénomène, qui n'a aucun inconvénient, ne se présente plus en donnant une contre-pente au tuyau.

Pour que l'alimentation se fasse facilement et ne rencontre pas de résistance dans le courant qui existe, de l'avant à l'arrière des chaudières, par l'action du feu, il faut plier le plongeur du tuyau d'alimentation, d'équerre, et l'arrondir de manière à diriger l'injection de l'eau vers l'arrière, dans le sens du courant général. Cette disposition est surtout nécessaire avec les retours d'eau, qui quelquefois ne fonctionnent pas par cette seule cause.

749. *Précautions à prendre quand le flotteur est trop bas pour marquer.* — Si l'on ne s'aperçoit pas promptement de cet accident, la pierre du flotteur, n'étant plus soutenue par l'eau, vient reposer par l'attache de son fil de cuivre sur le bord de la boîte à étoupes. Dans cette position il reste encore 15 ou 18 centimètres d'eau dans la chaudière, ce qui suffit pour marcher sans charge et alimenter immédiatement : la chaudière aussi peut être entièrement vide, il est très-important de savoir à quoi s'en tenir sur ce point; dans le dernier cas, il y aurait le plus grand danger à

mettre la machine en mouvement et à alimenter la chaudière que le feu pourrait avoir déjà fait rougir, d'où résulterait probablement une explosion, comme nous l'avons dit (529). Voici la marche à suivre pour s'assurer de l'état de la chaudière.

Il faut, après avoir fermé le robinet d'injection et enlevé ensuite le chapeau de la boîte à soupapes, ouvrir avec précaution ce même robinet d'injection. Comme le tuyau plongeur descend jusqu'à environ 1 décimètre du fond du générateur, l'eau, s'il en reste encore, s'élancera par le robinet au moment où on l'ouvrira, et elle sera pleine de dépôts terreux, faciles à reconnaître. Si, au contraire, il ne restait plus d'eau, il ne sortirait par le robinet que de la vapeur.

Cet essai est très-délicat, et on court le danger d'être brûlé en ouvrant le robinet, ou de se tromper en jugeant ainsi de l'état de l'eau dans la chaudière.

Dans tous les cas, le premier soin à prendre, c'est d'arrêter la machine, bien que l'on pût, à la rigueur, s'en dispenser pour nettoyer les soupapes, en fermant d'abord le robinet du tuyau d'aspiration, et seulement ensuite celui du tuyau d'injection.

750. *Des robinets d'injection et d'aspiration.* — Nous insistons sur ce point : on ne doit, dans aucun cas, fermer le robinet du tuyau d'injection quand la machine marche, avant d'avoir fermé complètement celui du tuyau d'aspiration, et avant d'avoir laissé faire ensuite quatre ou cinq tours à la machine, afin que toute l'eau du corps de pompe soit chassée ; quand le piston descend, l'eau aspirée par la pompe, ne pouvant plus s'échapper par le tuyau d'injection s'il est fermé, briserait à l'instant la tige de la pompe, à moins que le chapeau, qui couvre les soupapes, ne cédât et ne livrât passage à l'eau comprimée. Pour prévenir cet accident, quelques constructeurs tiennent ce chapeau fermé par un levier chargé d'un poids, qui sert ainsi de soupape de sûreté. Aussi ne doit-on pas, sans les précautions convenables, nettoyer les soupapes de la pompe pendant qu'elle marche ; il est difficile qu'on n'oublie pas quelquefois d'ouvrir et de fermer à propos le robinet d'injection.

La soupape de sûreté, placée sur le tuyau de refoulement, prévient tout accident de ce genre.

Quand on a plusieurs générateurs employés à un service commun, dans une grande teinturerie par exemple, on est obligé de placer des robinets à l'entrée de chaque tuyau d'alimentation dans la chaudière, pour pouvoir alimenter à volonté chaque chaudière. Si on les fixe verticalement à la chaudière même, ces robinets sont rapidement détruits et laissent toujours échapper beaucoup d'eau. Pour qu'ils tiennent bien, il faut, dans toutes les positions, les placer horizontalement, la clef en haut et sur la partie horizontale du tuyau d'injection à 0,30 au moins de la chaudière; ils sont ainsi exposés à une température moins élevée, et se détruisent moins vite.

Règle générale, les robinets, pour qu'ils ne fuient pas, doivent, autant que possible, être placés horizontalement et la clef en haut.

Ainsi, le principal usage du robinet d'injection est d'empêcher la vapeur, dont la chaudière est remplie, d'arriver dans la pompe alimentaire, quand on veut la nettoyer : on en sentira facilement l'importance. Quant au robinet d'aspiration, le chauffeur l'ouvre et le ferme sans inconvénient pendant le travail de la machine.

751. *Nettoyage des soupapes.* — Pour régler l'alimentation de la chaudière, nettoyer les soupapes, et pour faire toute autre réparation à la pompe alimentaire, le chauffeur doit arrêter la machine, puis fermer exactement le robinet d'injection. Celui-ci doit être ajusté et rodé avec beaucoup de soin, afin que l'eau bouillante de la chaudière, poussée par toute la force de la vapeur, ne s'épanche pas avec violence dans le corps des soupapes, et au dehors, au moment où l'on desserre la vis de pression du chapeau. Alors même que le robinet d'injection est bien fermé, on ne doit enlever ce chapeau qu'avec précaution pour éviter toute brûlure. Les soupapes de la pompe alimentaire, lorsque celle-ci ne fonctionne plus, sont presque toujours salies par des étoupes, du mastie, de la graisse, de la terre, ou d'autres ordures que la

pompe a puisées dans le condenseur ou dans la bêche d'alimentation; un simple nettoyage suffit alors.

752. *Engorgement du tuyau d'aspiration.* — Lorsque le tuyau d'aspiration est engorgé, on s'en assure facilement en portant la main dans le condenseur ou dans la bêche, à l'endroit où le tuyau d'aspiration vient prendre son eau; on n'y sent plus la forte aspiration qui a lieu quand la pompe fonctionne rondement, et l'eau que l'on verse alors dans le tuyau d'aspiration, après avoir enlevé les soupapes, ne peut plus s'écouler. Si l'on ne parvient pas à le nettoyer en y passant un fil de fer, il faut nécessairement le démonter.

753. *De l'usure des soupapes.* — On s'aperçoit aussi à la main si la soupape d'aspiration, inégalement usée, ne ferme plus, ou si, comme on le voit souvent, elle reste levée; car on sent alors à chaque coup de piston l'eau aspirée par la pompe, puis refoulée dans le condenseur. Cette usure se corrige facilement en rodant la soupape jusqu'à ce qu'elle ne laisse plus échapper l'eau dont on la couvre.

Quelquefois encore, quand la pression s'élève à 4 ou 5 atmosphères, l'eau de la chaudière remonte par le tuyau d'injection, traverse la soupape supérieure et entre sous le piston de la pompe, chaque fois que le vide s'y produit : celle-ci s'échauffe alors très-fortement et la vapeur sort de la boîte à étoupes avec une portion de l'eau de la chaudière salie de matières terreuses. On peut être certain que la soupape supérieure ne ferme plus exactement le passage, et que l'eau du générateur, poussée par la force de la vapeur, est aspirée par la pompe alimentaire, de préférence à l'eau du condenseur, qui ne supporte que la pression de l'air.

On s'en assure en couvrant d'eau la soupape. Si elle ne joint pas exactement, qu'elle soit usée, ou qu'il existe un défaut dans la boîte de cuivre, l'eau s'écoule immédiatement. On la rode à l'émeri fin jusqu'à ce qu'elle tienne bien.

754. *Emploi de l'eau du condenseur.* — La plus grande cause d'engorgement des clapets de la pompe alimentaire est l'emploi

de l'eau chaude du *condenseur* ; cette eau, toujours grasse, salit les clapets et les générateurs. L'alimentation est plus sûre et plus régulière avec de l'eau prise ailleurs que dans le condenseur ; c'est ce que font aujourd'hui presque tous les constructeurs. Nous avons déjà donné les moyens de la chauffer à 80 ou 90° avant son introduction dans le générateur (tome I, 411 et 412).

755. *Des chocs que donne la pompe alimentaire.* — Quelquefois on entend un choc dans la pompe ou dans le tuyau d'injection, à chaque coup de piston, lorsque le robinet d'aspiration est fermé ; ce bruit cesse dès qu'on l'ouvre. En voici la cause : quand le robinet ferme parfaitement, un vide complet se produit dans le corps de pompe, et le piston donne lieu à un choc assez fort, en descendant sur l'eau, sans que l'air soit interposé : que l'on desserre légèrement l'écrou du robinet d'aspiration pour y laisser entrer un peu d'air, la secousse cesse. Ce choc, qui n'a pas d'autre inconvénient que d'ébranler la pompe, disparaît au bout de quelques moments, sans doute parce que le robinet se desserre et que l'air se fraye un passage jusque dans le corps de pompe. Il faut toutefois prendre garde de confondre cette secousse avec celle qui se produit lorsqu'en montant une machine le piston descend trop bas, et touche au fond du corps de la pompe alimentaire, défaut d'où peut résulter quelque rupture.

756. *De l'air aspiré par la pompe alimentaire.* — On voit aussi l'air pénétrer dans la pompe soit par les soudures brisées du tuyau d'aspiration, soit par la boîte à étoupes. Cet air est souvent assez abondant pour arrêter la pompe ; on le reconnaît en promenant la flamme d'une bougie autour du tuyau pendant que la pompe marche, jusqu'à ce que cette flamme soit aspirée par la fente du tuyau ; c'est une soudure à faire ou une boîte à étoupes à regarnir.

757. *Du diamètre des tuyaux.* — Pour qu'une pompe alimentaire fonctionne à satisfaction, ses tuyaux ne doivent pas avoir un diamètre trop petit, surtout si elle est éloignée du réservoir où elle puise l'eau, et de la chaudière, surtout aussi si l'on a quelquefois à alimenter une chaudière avec plusieurs pompes : alors,

en effet, l'eau, obligée de prendre une vitesse très-grande dans de petits tuyaux, dépense beaucoup de force en frottements et n'a plus le temps de remplir le corps de pompe à chaque coup de piston, ce qui produit un choc assez fort et capable de déranger l'appareil. Pour une machine de 20 à 30 chevaux, lorsque les tuyaux ont une longueur de 9 à 10 mètres, il faut leur donner 30 millimètres, et jamais moins de 27 pour des machines plus faibles. On doit aussi éviter dans les tuyaux les coudes nombreux, qui gênent le mouvement de l'eau.

758. *De la boîte à étoupes.* — Si l'eau sort par la boîte à étoupes, il faut en resserrer les écrous, et si cela ne suffit pas, la regarnir, opération pour laquelle on doit arrêter la machine.

La rondelle de cuivre placée au fond de la boîte à étoupes est quelquefois usée et laisse échapper l'étoupe, qui passe par l'intérieur de la pompe jusque dans les soupapes et les obstrue. On y remédie en plaçant une rondelle de cuir épaisse au fond de cette boîte, immédiatement sur celle de cuivre, et en mettant par-dessus une forte tresse de chanvre tressée et bien graissée.

759. *Accumulation de l'air dans les tuyaux.* — Souvent après quelques jours d'arrêt de la machine, et au moment de sa mise en marche, la pompe alimentaire refuse de fonctionner; c'est qu'il s'est amassé de l'air dans le tuyau d'aspiration et le corps de pompe. Il faut desserrer le chapeau du porte-clapet, soulever le clapet supérieur, verser de l'eau dans le corps de pompe, et, ouvrant le robinet d'aspiration, faire marcher quelques instants la pompe; l'air contenu dans le tuyau d'aspiration s'échappe et l'eau y arrive. On arrête alors et on serre le chapeau avec sa vis de pression.

760. *Appareils d'alimentation sans moteur. Retours d'eau. Monte-jus des sucreries.* — Les appareils d'alimentation dont nous venons de parler sont très-bons lorsque l'on dispose d'une puissance mécanique pour les mouvoir; mais dans tous les chauffages à vapeur, dans les teintureries, dans beaucoup d'industries, on emploie des générateurs qu'il faut alimenter sans moteur, et cependant avec pression. Quelquefois on y applique

un *petit cheval*, c'est-à-dire une petite machine à vapeur conduisant une pompe alimentaire dont nous donnons plus loin la description et un plan.

Mais l'appareil le plus employé est un cylindre de tôle placé au-dessus des générateurs, et ayant en capacité environ un quart de la chaudière. Un retour d'eau, pour une chaudière de 30 chevaux, doit avoir au moins 1 mètre de diamètre sur 3 ou 4 mètres de longueur. A ce cylindre sont ajustés :

- 1° Un tuyau de cuivre, qui y amène la vapeur de la chaudière;
- 2° Un tuyau semblable placé au bas, et qui conduit dans la chaudière, et jusqu'au fond de celle-ci, l'eau dudit cylindre;
- 3° Un troisième tuyau qui va chercher l'eau destinée à l'alimentation dans une bêche ou dans un puisard.

Chacun de ces tuyaux porte un robinet.

Enfin, un quatrième robinet sert à laisser échapper l'air du cylindre.

Quand le retour d'eau dessert un appareil de chauffage, le cylindre doit avoir encore un tuyau muni de son robinet, qui y ramène les eaux condensées de tous les appareils de l'édifice.

Chacun des tuyaux qui servent à introduire de l'eau, chaude ou froide, dans le cylindre de retour d'eau, reçoit un bout de tuyau qui descend jusque près du fond du cylindre, et qui est appelé *tuyau plongeur*.

Le retour d'eau doit avoir aussi un indicateur de niveau en cristal, muni de ses deux robinets, de ses vis de nettoyage, et qui est indispensable pour régler la marche de l'alimentation.

761. *Retours d'eau de l'appareil de chauffage de l'hôpital militaire de Vincennes.* --- Nous donnons (*pl. 1^{re}, fig. 39 et 40*) le tracé détaillé de ces deux retours, qui sont très-complets, et qui permettent de recevoir à volonté les eaux condensées de plus de 100 poêles à eau et à vapeur, qui, comme nous l'avons dit dans notre premier volume (nos 429 et suivants), chauffent les salles et l'air de ventilation de l'aile gauche, de l'administration et du pavillon des sœurs de ce bel hôpital; ces eaux rentrent à volonté, soit dans l'un, soit dans l'autre des retours

qui desservent chacun une chaudière à vapeur, au-dessus de laquelle ils sont soutenus par des supports scellés dans les murs et munis de colliers à vis; ces retours reçoivent, selon les besoins, soit l'eau chaude condensée dans tous les poêles de l'aile, soit de l'eau froide venant du réservoir général de l'hôpital, et alimentent à volonté l'une ou l'autre des chaudières.

Un tuyau d'évacuation, partant de chaque retour, conduit la vapeur perdue, mêlée d'air, qui vient de tous les appareils, dans le réservoir destiné au service des bains, où il chauffe cette eau, très-économiquement, par l'intermédiaire d'un serpentia en cuivre d'une grande puissance.

Un autre tuyau partant du fond du retour va se brancher à la tête du bouilleur alimentaire, placé dans le dernier carneau de fumée du fourneau, et qui est lui-même en communication avec la chaudière par un tube de cuivre de 8 centimètres de diamètre, qui y pénètre à la partie supérieure et se courbe pour plonger jusque près du fond de l'eau. Ce tuyau verse dans le générateur l'air dégagé par l'eau d'alimentation, la vapeur qui peut se produire dans le bouilleur, et l'eau d'alimentation, qui y arrive chauffée à 100°, après avoir traversé le bouilleur réchauffeur, en descendant du retour, par l'action de sa seule pesanteur; tous les tuyaux de vapeur et d'eau sont en fer étiré; nous en donnons les diamètres sur notre tracé; chacun d'eux est muni de son robinet.

A Vincennes, les tuyaux généraux de retour d'eau des salles, en même temps qu'ils sont branchés sur les deux cylindres de retour d'eau, le sont aussi sur les deux chaudières, de sorte que, quand le soir on arrête le chauffage, on ouvre la communication des tuyaux de retour avec les générateurs où l'eau condensée rentre directement, pendant toute la nuit. Le service se fait en aspirant dans les cylindres de retour d'eau, par l'action du vide, les eaux condensées qui arrivent par tous les tuyaux de retour, action qui s'obtient en isolant les cylindres du bouilleur alimentaire, de la vapeur des chaudières et du tuyau d'eau froide, et en permettant seulement à la vapeur

perdue et à l'air évacué d'aller chauffer les bains ou de se rendre au dehors.

Si les eaux condensées ne suffisent pas pour l'alimentation, on la complète avec de l'eau du réservoir général.

Quand le tube de niveau en cristal montre que le cylindre est plein, on ferme la communication avec les tuyaux de retour et avec le réservoir des bains, et on rouvre le robinet du tuyau de vapeur; celle-ci se précipite à travers la masse d'eau à moitié chaude ou entièrement froide du cylindre, qu'elle porte rapidement au bouillon, en s'y condensant; on ouvre alors le robinet du tuyau d'alimentation, qui permet à l'eau bouillante du cylindre de s'écouler dans le bouilleur et de là de pénétrer dans la chaudière.

La vapeur exerce, en effet, sur la surface de l'eau bouillante du retour alimentaire, une pression égale à celle qu'elle exerce sur l'eau de la chaudière; cette pression, se trouvant contrebalancée, est annulée, et la colonne d'eau du retour à la chaudière y pénètre sous la seule action de sa pesanteur.

Quand le cylindre a vidé ainsi toute son eau dans le générateur, on ferme le robinet du tuyau d'alimentation, et on recommence une nouvelle opération entièrement pareille.

Il est très-important de n'alimenter les chaudières qu'avec de l'eau bouillante, pour ne pas avoir de grandes variations de pression, qui rendent toujours un service moins bon et plus difficile, en diminuant brusquement la pression dans la chaudière, et par suite dans tous les appareils qu'elle alimente. Lorsque le cylindre de retour doit aspirer l'eau dans une bêche ou dans un puits placé plus bas, le travail est exactement le même, si ce n'est que le tuyau qui amène l'eau froide dans le retour va plonger dans la bêche ou dans le puits indiqués; voici comment on opère pour faire le vide.

Quand on veut faire le vide, tous les robinets étant fermés, on ouvre celui qui évacue l'air du cylindre, et celui qui amène la vapeur de la chaudière. Lorsque ce cylindre est plein de vapeur, on ferme ces deux robinets et on ouvre celui qui as-

pire l'eau de la bêche. La vapeur, en se condensant par le refroidissement de la surface, fait un léger vide, l'eau monte pour le remplir, et, détruisant instantanément toute la vapeur, elle remplit le cylindre en quelques minutes. On ferme alors le robinet d'aspiration, et on ouvre les deux robinets qui communiquent à la chaudière; l'eau du cylindre, placée au-dessus du générateur, y coule par son poids, comme nous l'avons déjà dit. On comprend qu'avec de doubles tuyaux le même appareil peut alimenter deux ou plusieurs générateurs. On s'en sert aussi pour monter des liquides, comme le jus de betteraves, aux étages supérieurs des sucreries; mais il ne faut pas les faire aspirer à plus de 4 ou 5 mètres, car, en vertu de la tension de la vapeur qu'ils contiennent, ils cessent alors de bien fonctionner.

762. *Cheval alimentaire de M. E. Bourdon.* — On trouvera (pl. 14, fig. 31 et 32) l'élévation et les plans de ce cheval alimentaire, et (fig. 33) les détails de sa distribution de vapeur et de sa pompe alimentaire.

La vue de ces tracés suffit pour faire comprendre leur système. L'appareil consiste en un petit cylindre à vapeur, avec son piston et sa tige, la distribution de vapeur complète, et le robinet d'introduction; la tige du piston, au moyen d'une bielle et d'un mouvement qui maintient sa direction rectiligne, commande un arbre en fer cintré, qui fait manivelle et qui porte un volant, et la commande du tiroir; de l'autre côté de la manivelle est une pompe alimentaire à piston plein, conduite comme la tige du piston, et qui a ses soupapes sous un bouchon fermé par un étrier à vis; les tuyaux d'aspiration et de refoulement, le cylindre, la pompe et le volant, sont portés sur un bâtis double en fonte, fixé par des boulons de scellement sur une pierre de taille. C'est, en réalité, une petite machine à vapeur complète, destinée à conduire une pompe alimentaire.

Dans les machines de grande puissance, il faut que le petit cheval ait aussi sa petite chaudière séparée des autres générateurs qu'il est destiné à alimenter, en dehors de tout le service de ceux-ci, lors même qu'ils sont arrêtés.

763. *Appareil de M. Canson.* — M. Canson d'Annonay a trouvé et employé, depuis plusieurs années, un appareil d'alimentation où le mouvement se produit par l'alternative de plein et de vide d'un cylindre oscillant. Plusieurs autres instruments ont été aussi essayés dans le même but, mais aucun d'eux n'a la certitude ou la régularité du retour d'eau, de la pompe alimentaire ou du petit cheval.

764. *Appareil de M. Pimont, dit calorifère alimentateur pour chauffer l'eau d'alimentation.* — Cet appareil, simple et ingénieux, applicable à toutes les machines à vapeur sans condensation, élève l'eau d'alimentation à 95° centigrades, et donne par conséquent une économie notable sur l'alimentation ordinaire, à 36 et 40°.

Il consiste en un long serpentín en cuivre ajusté dans un bac en bois ou en tôle, fermé par un couvercle et contenant de l'eau, qui enveloppe le serpentín. L'eau d'alimentation est envoyée par la pompe alimentaire à l'extrémité inférieure du serpentín; elle le traverse sous l'action des coups de piston, et elle en sort par un tuyau branché à sa partie supérieure, et muni d'une soupape d'arrêt qui empêche le retour de la vapeur de la chaudière. La vapeur perdue de la machine est amenée dans la boîte, à la surface de l'eau qui baigne le serpentín et la chauffe fortement; celle-ci à son tour transmet sa chaleur à l'eau du serpentín à mesure qu'elle s'y élève. Cet appareil, d'une construction simple, reposant sur un bon principe, a donné depuis longtemps à Rouen d'excellents résultats pratiques en grand, résultats constatés dans un rapport fait par MM. Person, Lévy et Girardin, à l'Académie impériale de Rouen. Nous ne saurions trop en conseiller l'usage.

Cylindres.

765. *Marche de la vapeur. Du tuyau d'introduction.* — La vapeur produite dans la chaudière est conduite par un tuyau de cuivre (*pl. 1, fig. 1*) dans la double enveloppe des cy-

lindres, que l'on nomme *chemise*, et s'y répand pour les échauffer, avant de se rendre dans les boîtes qui la distribuent alternativement dessus et dessous les pistons.

On a employé quelquefois des tuyaux de plomb pour la vapeur, ou pour des circulations d'eau à haute pression, mais on ne doit jamais le faire même avec les machines à basse pression, parce que la soudure à l'étain, quand elle est chauffée, se casse de suite, que ces tuyaux s'allongent sous l'action de la chaleur et de la pression, se dilatent en s'amincissant et crèvent.

Le tuyau d'introduction de vapeur doit toujours avoir un grand diamètre, qui, pour une machine de 12 à 16 chevaux, ne doit pas être au-dessous de 0^m,055; des tuyaux plus étroits n'offriraient pas à la vapeur un passage assez facile. En effet, les frottements augmentent considérablement avec la vitesse que la vapeur est obligée de prendre : pour une vitesse double ils sont quatre fois plus grands, et lorsque les tuyaux ont 4 ou 5 mètres de longueur, comme cela a lieu ordinairement, s'ils sont trop étroits, la température et la tension de la vapeur restent beaucoup moindres dans la chemise que dans la chaudière; cette différence de tension est une perte réelle, puisqu'elle est employée tout entière, et sans résultats, à vaincre les frottements que la vapeur éprouve dans de petits tuyaux. Quand les tuyaux, les valves et les tiroirs ont des dimensions suffisantes, la différence de tension de la vapeur de la chaudière à celle qui est rendue dans la chemise est d'environ 1/20, suivant M. le général Poncelet.

Pour calculer le diamètre de ces tuyaux, les constructeurs ont aujourd'hui des règles données par la pratique. Il faut donc conserver avec soin dans la chemise toute la force de la température et de la tension, soit pour que la vapeur traverse plus rapidement les boîtes, et développe plus de puissance mécanique, soit pour échauffer plus vite celle qui se détend sur le grand piston ou dans le cylindre même, si la machine est à un seul cylindre, et aussi pour rendre au cylindre la température qu'il perd à chaque coup de piston.

766. *Eau qui remonte dans la chemise.* — Si, d'un autre côté, un courant d'air froid vient frapper la chemise, il s'y produit une condensation subite, et la vapeur de la chaudière, étant gênée dans son passage à travers des tuyaux étroits, ne peut pas y arriver avant l'eau, qui a moins de chemin à parcourir pour remonter par le tuyau de décharge destiné à ramener à la chaudière l'eau condensée de la chemise : les machines dont les tuyaux d'introduction ne sont pas assez larges éprouvent souvent cet accident, qui porte une boue dangereuse dans la chemise, et jusque dans les cylindres et les pistons.

767. *Nécessité d'augmenter alors la tension dans le générateur.* — Pour conserver à la machine toute sa force, cette résistance d'un tuyau étroit, en diminuant la tension dans la chemise, exige dans la chaudière une surélévation de température qui accroît toutes les pertes par les masticages qu'elle fatigue et par les surfaces, et augmente la dépense de combustible, en diminuant la différence entre le feu et l'eau de la chaudière; une partie de l'effet de la houille est en effet détruit, et il ne peut plus passer autant de chaleur à travers le métal.

768. *Dangers d'un tuyau trop étroit pour débiter la vapeur développée par la chaudière.* — Avec un bon fourneau et un feu vif, ce tuyau trop étroit n'est plus capable de débiter toute la vapeur produite, et l'on se trouve exposé à des accidents graves. On pourrait citer des ruptures de cylindres dues à cette cause. Le moindre inconvénient est de rendre les machines lourdes. Il n'y a aucun danger à donner au tuyau d'introduction un diamètre supérieur, qui, au lieu de 35 millimètres, adoptés par quelques constructeurs pour les machines de 16 chevaux à moyenne pression, doit avoir au moins 60 millimètres, c'est-à-dire présenter un passage quatre fois plus grand.

Nous employons, pour calculer le diamètre des tuyaux de conduite de vapeur au-dessus de 1 atmosphère de pression, la règle suivante : nous donnons au tuyau 35 millimètres, plus 2 millimètres par force de cheval. Ainsi, pour 16 chevaux, c'est $35 + 32 = 67$ millimètres. Il n'y a jamais de danger à être un peu trop large.

Dans les machines à basse pression, comme dans tous les chauffages à vapeur, il est plus important encore de donner un grand diamètre aux tuyaux : pour une machine de 16 chevaux, il doit atteindre 12 ou 15 centimètres au moins, parce qu'il n'existe plus alors dans la chaudière qu'une tension très-faible, qui doit cependant imprimer à la vapeur la vitesse considérable dont elle a besoin pour remplir exactement le cylindre.

769. *Du robinet et du tuyau de décharge.* — L'eau qui provient de la vapeur condensée dans la chemise est tantôt ramenée dans la chaudière par un large tuyau de décharge, tantôt, ce qui vaut mieux, jetée dans le condenseur par un petit robinet placé au bas de la chemise, vissé fortement dans la fonte, et dont on règle l'ouverture de manière à ne livrer passage qu'à l'eau seule, sans laisser échapper de vapeur.

Cette eau est souvent trouble, parce qu'elle entraîne les matières terreuses que la vapeur porte dans la chemise; en la jetant dans le condenseur, on n'envoie pas ces dépôts à la chaudière, et la chemise en est moins salie.

Si on attachait à la perte de cette eau chaude plus d'importance que nous ne faisons, on monterait sur la chemise un tuyau de retour à la chaudière et un robinet de décharge, qui ouvrirait ce dernier de temps en temps pour laisser passer un courant de vapeur, capable de détacher et de balayer les dépôts amassés. Il faut aussi passer par le robinet un fil de fer, qui pénètre dans toute la circonférence de la chemise, pour en détacher les crasses, et les livrer plus facilement à l'action du courant de vapeur.

L'addition du tuyau de retour nous paraît peu utile dans les petites machines; on peut aussi bien balayer la chemise avec de la vapeur, sans tuyau, et l'économie résultant du retour de l'eau condensée ne dépasse pas 6 kil. de houille, par vingt-quatre heures, dans une machine de 10 ou 12 chevaux. Il est impossible d'entretenir assez bien une machine pour que sa consommation ne varie pas chaque jour dans des limites beaucoup plus grandes, par des causes très-légères et souvent impossibles à apprécier,

et le plus léger accident qui serait dû à l'emploi du tuyau de décharge enlèverait toute l'économie obtenue pendant une année.

770. *Précautions à prendre en hiver.* — Le robinet de décharge est très-utile pour vider la chemise, quand on arrête la machine pour quelques jours, en hiver. Si l'eau qu'on pourrait y laisser se gelait, la chemise serait infailliblement fendue. Nous avons eu plus d'un exemple de cet accident. On ne peut prendre les mêmes précautions pour le tuyau à vapeur et celui de décharge; mais il faut les envelopper avec soin de lisières de drap, de thibaude, ou d'une couche épaisse de charbon ou de sciure de bois, et s'assurer qu'ils ne sont pas bouchés par la glace, quand on rallume le feu, après un ou deux jours de repos.

Nous recommandons en même temps ici de laisser échauffer lentement et pendant plusieurs heures une machine qui aurait été exposée à la gelée; l'eau qui reste dans le cylindre, le condenseur et les boîtes peut être gelée, et si on ne la fondait pas d'avance, les pièces de la machine seraient nécessairement brisées au moment de la mise en marche : nous l'avons vu pour les tiroirs.

Ces tuyaux doivent être munis de deux robinets, afin de pouvoir arrêter la vapeur qui se condenserait sans utilité dans la chemise, lorsqu'on laisse la machine quelque temps en repos, et cette incommode chaleur rendrait les travaux d'entretien beaucoup plus fatigants pour les mécaniciens.

771. *Du parallélisme des cylindres.* — Un des éléments les plus importants pour la parfaite construction et le travail régulier d'une machine de Woolf est le parallélisme de ses deux cylindres, sans lequel on ne parvient jamais à les placer tous deux verticalement et à éviter l'usure des pistons et de leurs tiges ou la rupture de pièces importantes; dans les machines de tout système, la parfaite perpendicularité des cylindres est la première condition de bonne marche, d'économie et de durée. On voit souvent des cylindres bien ajustés dans l'atelier de construction n'être plus parallèles après un transport à de

grandes distances, parce que les vis qui traversent la chemise et maintiennent les cylindres ont changé de position. Rien de plus facile que de desserrer ces vis, de défaire le joint qui réunit les cylindres à la chemise, et de les redresser avec toute la rigueur possible, lorsque les mécaniciens ont eu la précaution de laisser les têtes des vis apparentes sur la chemise.

Pour dresser les deux cylindres, il faut d'abord mettre la chemise d'aplomb, aussi bien qu'on pourra le faire : puis y placer les deux cylindres, et rendre chacun d'eux parfaitement perpendiculaire, en les réglant successivement avec un niveau formé de deux planches (*pl. 18, fig. 44*) de 2 m. à 2 m. 1/2 de longueur, qui entrent à frottement dans chaque cylindre, et sur le milieu desquelles sont tracées deux lignes parfaitement parallèles à ses côtés. A la moitié de la hauteur de la planche, et sur cette ligne, une ouverture reçoit le plomb attaché à un fil très-délié, qui descend du haut de la planche sur la ligne du milieu. On dresse le cylindre jusqu'à ce que, en tournant le niveau dans tous les sens, le fil à plomb couvre toujours la ligne verticale de la planchette. Quand cette opération est faite sur les deux cylindres, on peut compter sur leur parallélisme. Il faut alors refaire avec le plus grand soin leur masticage et resserrer les vis pour qu'elles les maintiennent dans une position invariable, sans cependant les comprimer, parce que le cylindre, n'étant pas parfaitement rond, ne se trouverait plus fermé complètement par le piston. Or, ce grave défaut se présente tous les jours dans l'alésage des cylindres, qui s'aplatissent d'une quantité sensible sous la pression de l'appareil qui les fixe. Quand les têtes de vis sont noyées dans la fonte, il faut les découvrir, forer à travers la fonte un trou un peu plus grand, le tarauder, et y mettre de nouvelles vis, dont on laisse saillir la tête. On peut aussi dresser et dégauchir les deux cylindres en posant sur leur bord tourné une règle en fer et le niveau d'eau. Ce procédé est même plus exact que le précédent.

772. *Ajustement des cylindres dans les chemises.* — *Chemises et cylindres de MM. Windsor et C^{ie}.* Dans leurs machines à

deux cylindres, MM. Windsor et C^{ie} font venir le grand et le petit cylindre, avec une portée extérieure en haut (*pl. 4, fig. 4 et 5*); on la tourne en dessous, pour qu'elle repose horizontalement sur un bourrelet pareil venu à la partie supérieure de la chemise et tourné aussi; quand le grand et le petit cylindre sont posés sur ces bourrelets, on remplit de mastic de fonte bien serré au marteau les deux vides annulaires à queue d'aronde qui existent entre la fonte de la chemise et le haut des cylindres; le tournage des deux bourrelets a pour objet d'assurer le parfait parallélisme des deux cylindres et leur rigoureuse perpendicularité sur la plaque de fondation.

Le fond de la chemise est coulé avec la chemise elle-même, mais les fonds des deux cylindres sont ajustés et mastiqués, après coup, au bas des cylindres, et extérieurement par le même système que les cylindres dans la chemise, au moyen de rebords tournés et d'un masticage de fonte à queue. Ces fonds mobiles, mis après coup, ont pour objet de permettre un excellent alésage des cylindres ouverts des deux bouts et de rendre facile le changement d'un fond de cylindre, s'il venait à être brisé, comme cela arrive quelquefois, ainsi que nous le montrerons plus loin.

Le bourrelet en saillie, qui reçoit le masticage, rend en même temps les fonds des cylindres plus solides. Avec ces dispositions, le parallélisme parfait et la perpendicularité des deux cylindres sont promptement et sûrement obtenus, et les masticages de la chemise aux cylindres ne peuvent pas laisser échapper de vapeur. Quant aux couvercles, ils entrent d'une quantité assez considérable dans le cylindre, d'abord pour guider et maintenir le plateau toujours dans la même position, pour ne pas permettre au mastic rouge, encore frais, d'être dérangé de sa position, et enfin pour réduire le plus possible le vide et par conséquent la vapeur qui se perd inutilement au-dessus et au-dessous du piston, à chaque oscillation de la machine.

773. *Chemises et cylindres de M. Farcot* (*pl. 7, fig. 11*). — Comme dans beaucoup de machines des steamers et dans toutes

celles du Cornouailles, les couvercles de M. Farcot présentent une chambre vide qui se remplit de vapeur. Cette disposition est importante avec les cylindres qui ont un grand diamètre et n'ont pas une grande longueur, et où s'opèrent des détentes portées souvent jusqu'à trente fois le volume primitif, autrement la vapeur détendue ne se réchaufferait pas aussi rapidement qu'elle doit le faire, sous l'action de la vapeur à six atmosphères qui arrive des chaudières.

Toutes ces machines sont à doubles enveloppes : la première reçoit la vapeur qui vient de la chaudière avant qu'elle arrive à la boîte de distribution ; la seconde enveloppe est composée d'air stagnant ou de poussier de charbon, retenu par un entourage en fonte ou en bois. Les fonds des cylindres et les couvercles sont dans les mêmes conditions. Tous les conduits, tant pour l'arrivée de la vapeur que pour l'échappement, sont pratiqués dans le métal du cylindre et venus de fonte avec la pièce, afin d'éviter les fuites que produisent les dilatations et les contractions dans les masticages du cylindre à la chemise.

Personne, avant M. Farcot, n'avait fait des couvercles de cylindres à circulation de vapeur. M. Farcot enveloppe avec le plus grand soin, comme on fait dans le Cornouailles, les tuyaux et toutes les communications entre les chaudières et les machines.

774. *Rupture du fond du petit cylindre.* — Le fond des cylindres, qui y est masticé à queue d'aronde, quand il n'est pas fondu avec le corps du cylindre, vient quelquefois à se fendre par un choc du piston, ou se trouve en partie démastiqué ; la vapeur passe alors directement de la chemise dans le cylindre, et de là dans le condenseur, pendant une partie de la course du piston, si la fente s'est faite dans le grand cylindre.

Si c'est au contraire le petit cylindre qui est brisé ou démastiqué, bien que la perte de la vapeur soit moins grande, puisqu'elle travaille encore sur le grand piston, elle gêne beaucoup la marche de la machine, en résistant à son action pendant la descente du piston : si la fente était assez large, elle pourrait l'arrêter. On ne peut reconnaître avec certitude les fentes du

petit cylindre qu'en enlevant le piston, et envoyant de la vapeur dans la chemise.

775. *Envoi de la vapeur dans la chemise pour reconnaître les fuites des cylindres.* — Pour qu'il y ait certitude dans cette expérience, il faut que la vapeur envoyée dans la chemise ait au moins 4 atmosphères de tension. Quand ces fuites sont faibles, on les reconnaît en essuyant avec soin le fond du cylindre, et là où est le défaut, il se montre au bout de quelques instants de l'eau, puis un léger bouillonnement.

On peut encore reconnaître les passages de vapeur qui se feraient dans le fond des cylindres, s'ils sont assez forts, sans démonter les pistons. On enlève les plateaux des boîtes et les tiroirs, pendant que la vapeur est dans la chemise, et alors celle qui a pénétré dans le grand cylindre sort par l'ouverture qui conduit au condenseur (nous supposons les pistons à moitié course, en descendant), et la vapeur qui pénètre dans le petit cylindre par son fond s'échappe par le passage inférieur de la boîte du petit cylindre. La seule attention à avoir est de ne pas prendre la vaporisation du peu d'eau que contiennent les cylindres pour une fuite réelle, ce qu'on vérifie en prolongeant l'examen.

776. *Symptômes de la rupture du fond du grand cylindre.* — Le premier signe auquel on reconnaît la communication établie entre la chemise et le grand cylindre, et le passage direct et inutile de la vapeur au condenseur, est l'échauffement extraordinaire de ce dernier, et la blancheur de son eau troublée par des matières terreuses : en arrêtant un instant la machine dans la position où les pistons commencent à descendre, et où, par conséquent, la partie inférieure du cylindre est en communication libre avec le condenseur, si le cylindre est fendu ou démastiqué, la vapeur continue toujours à échauffer le condenseur, sans que la machine travaille, et à y porter de l'eau blanchie par les dépôts terreux de la chaudière.

Si le masticage seul est détruit ou fendu, la réparation est facile ; il faut enlever le cylindre de la chemise, mastiquer de

nouveau le fond, puis le remettre en place avec les précautions que nous venons d'indiquer pour le dresser. Il faut seulement laisser sécher ce masticage pendant deux ou trois jours à l'air, avant de remonter le cylindre.

Si le fond du cylindre avait trop peu d'épaisseur pour obtenir un masticage solide, il faudrait passer trois vis à travers les parois du cylindre, et jusque dans les bords du fond, pour les maintenir invariablement; puis faire le masticage.

777. *Réparation avec une plaque.* — S'il y a une fente légère dans le cylindre, on peut la réparer complètement avec un bon masticage, maintenu par une plaque de tôle et une forte bande de fer serrée autour du cylindre au moyen de vis; mais le plus sûr, si la fuite est importante, c'est de changer le cylindre et de le remplacer par un neuf, alésé toujours et reposé avec les plus grands soins. Les fuites continuelles de vapeur qui se font à travers ces fentes et la destruction des segments du piston, si la fente se trouve à un point parcouru par le piston, sont des pertes très-graves, auxquelles il faut porter de suite remède. En tout cas, il est facile de découvrir les fuites ou les défauts de fonte par lesquels la vapeur pourrait passer dans les cylindres, en enlevant les plateaux et les pistons, et envoyant dans la chemise de la vapeur à une forte tension, qui se fait promptement jour à travers les fentes.

778. *Masticage des cylindres à la chemise.* — Quant au masticage supérieur qui réunit les cylindres à la chemise, sans cesse exposé aux dilatations et condensations inégales de ces trois pièces, à la forte tension de la vapeur et aux ébranlements causés par l'action des coups de piston sur les cylindres, il se fend souvent et laisse échapper une petite quantité de vapeur, qui, sortant de la chemise, ne peut altérer en rien la marche de la machine. Il est quelquefois difficile d'arrêter complètement ces fuites, qui deviennent insensibles dès que la machine travaille; et l'on n'y réussit guère, et pour quelque temps seulement, qu'en renouvelant entièrement le masticage. Ces fuites sont ordinairement dues à l'allongement que les cylindres éprou-

vent par le haut, sous l'action de la chaleur, quand ils sont retenus trop solidement par leurs vis de pression. Aussi, ne doit-on pas serrer ces vis plus fortement qu'il n'est nécessaire pour maintenir les cylindres dans leur position verticale.

Lorsque les cylindres sont rayés, ce qui a lieu souvent si les ressorts des pistons viennent à se briser, si les machines travaillent depuis longtemps, ou si l'on n'a pas graissé convenablement les pistons, il faut les aléser de nouveau, sans quoi l'on perdrait une très-grande quantité de vapeur qui passerait directement et sans interruption au condenseur.

779. *Cylindres et chemises coulés d'une pièce.* — Le moulage des pièces mécaniques en fonte a été porté si loin aujourd'hui, que l'on coule quelquefois d'une seule pièce, et sans aucun joint, la chemise et les deux ou trois cylindres des machines de Woolf ou de Steele, avec leurs conduits à vapeur. On évite ainsi tous les joints et les chances de fuite des conduits de vapeur et des cylindres, excepté pour les fonds de cylindre que l'on fait toujours séparément.

Il y a là quelques avantages, mais il y a l'inconvénient grave d'être forcé à remplacer la pièce entière, si l'un des cylindres se brisait ou était rayé assez profondément pour demander un renouvellement.

780. *Masticage du plateau.* — Le masticage des plateaux qui ferment les cylindres ne peut être bien fait que quand le bord des cylindres est dressé et tourné avec soin, sur une largeur de 60 ou 70 millimètres et parfaitement perpendiculaire au cylindre.

On trouvera, dans l'article relatif aux mastics (4^e partie), la composition du mastic rouge et la manière de l'employer pour le masticage des plateaux et de toutes les autres pièces d'une machine.

Nous dirons seulement ici que, quand on descend le plateau sur le masticage, et quand on a mis tous les boulons en place, il faut les serrer lentement, à plusieurs reprises différentes, et les uns après les autres, afin que le mastic soit également comprimé, le plateau bien placé d'aplomb, la tige du piston exacte-

ment au milieu du chapeau *a* (*pl.* 4, *fig.* 4 et 5) de la boîte à étoupes, et que ce chapeau joue librement autour de la tige sans être bridé d'aucun côté, car il l'userait alors rapidement. Pour le vérifier avec certitude, il faut, pendant qu'on serre les boulons des plateaux, placer le balancier dans différentes positions, surtout au bas de la course des pistons, parce que c'est dans cette position que les tiges, entièrement maintenues par le piston et le plateau, peuvent être le plus dangereusement forcées, si leur course n'était pas parfaitement perpendiculaire.

Si le bord des plateaux était assez mal dressé pour que l'on ne pût pas parvenir, en serrant les écrous, à maintenir la tige au milieu de la boîte à étoupes, il faudrait augmenter la quantité de mastic du côté trop faible, ou même mettre une demi-rondelle de plomb par-dessus la première, et la mastiquer de même. Mais c'est une mauvaise machine que celle où les bords supérieurs du cylindre et de la chemise, et surtout la partie qui reçoit le plateau, ne sont pas tournés avec grand soin.

Les écrous qui maintiennent les plateaux doivent être serrés avec force sur le mastic, tandis qu'il est encore mou. S'il s'y déclarait pendant le travail de la machine quelques fuites qui laissassent entrer l'air dans le grand cylindre, et rendissent la machine lourde, on ne doit pas essayer de serrer encore les écrous sur le mastic sec; mais, au lieu de lever les plateaux et de les mastiquer de nouveau, ce qui est une dépense assez importante de temps et de mastic, on peut chasser de l'étope enduite de mastic entre le plateau et la rondelle de plomb avec un matoir mince. On parvient ainsi à arrêter des fuites sans difficulté et sans dépense.

Quant aux machines sans balancier et à directrice, les plateaux se mastiquent avec les mêmes soins et précautions; ces soins sont surtout nécessaires avec les machines horizontales, où le mastic peut se déplacer en le posant sur une surface verticale.

Lorsque l'ajustement des plateaux et des cylindres a été bien soigné par le constructeur de la machine, on n'a pas besoin de soins aussi grands, car les bons constructeurs dressent et rodent

ensemble les bords du cylindre et du plateau assez parfaitement pour qu'une légère couche de mastic très-mou suffise à empêcher toute fuite. Nouvelle preuve, s'il en était besoin, que la perfection dans la construction d'une machine est un des moyens les plus sûrs et les plus puissants d'économie courante que l'on puisse employer.

781. *De la boîte à étoupes ou stuffingbox et de leur garniture.* — Quelquefois l'anneau de bronze appelé *grain*, qui se trouve placé au fond de la boîte à étoupes du plateau, est trop libre, et, entraîné par la tige du piston qui monte, il est ramené avec un choc violent à sa descente.

Pour corriger ce défaut, on doit élargir légèrement cette rondelle au dehors, ce qui la fait entrer de force dans la boîte à étoupes, et y rester solidement fixée. On doit augmenter d'une petite quantité son diamètre intérieur, si le passage de la tige du piston n'est pas assez libre.

Lorsque le chapeau de la boîte à étoupes est en fonte, il est bon de le garnir en dedans d'une bague en bronze.

Les étoupes dont on remplit les boîtes de plateaux doivent être fines et douces, en un mot, de première qualité. Celles de chanvre long sont les meilleures. Il faut surtout les employer très-propres et sans poussière, parce que le moindre sable ou les matières dures qui s'y trouveraient rayeraient et useraient rapidement les tiges des pistons, et livreraient passage à l'air, à travers la boîte à étoupes. Il en serait de même si elles étaient dures. On les tord et on les frotte de suif; on les trempe même dans le suif fondu; on les serre à plusieurs reprises au moyen du chapeau de la boîte et de ses écrous pour les tasser, jusqu'à ce que la boîte soit complètement pleine et l'étope fortement serrée. A mesure qu'elle se tasse par le travail de la machine, on resserre les écrous, ou même on en ajoute de nouvelles pour empêcher l'air d'entrer dans les cylindres, et surtout dans le grand, où il pénètre bien plus facilement, parce que le vide s'y produit à chaque course de piston.

On reconnaît que l'air entre dans le cylindre, quand la

graisse fondue dont on remplit le chapeau de la boîte à étoupes est aspirée par le cylindre, et passe au condenseur dont elle salit l'eau.

Pour le bourrage des tiges de piston, on emploie avec avantage moitié chanvre long et moitié coton filé. Les garnitures des boîtes à étoupes sont ainsi beaucoup plus douces et restent toujours plus tendres qu'avec du chanvre seul ; elles durent aussi le double de temps et ne demandent pas à être aussi serrées.

Les tringles des tiroirs et de la détente sont avantageusement garnies de coton seul ; à la pompe à air, à la pompe alimentaire et à la pompe de puits, on se sert de chanvre seul trempé dans l'eau et non dans le suif. La hauteur des garnitures en chanvre ou en coton doit être de 8 ou 10 centimètres, et leur épaisseur de 15 ou 20 millimètres.

Lorsque les garnitures ne fatiguent pas, on emploie des rondelles de caoutchouc vulcanisé, que l'on découpe soi-même ou que l'on achète toutes préparées, et dont on remplit, en les tassant, le vide de la boîte à étoupes.

Lorsque l'étoupe est dure et peu graissée, et que l'on serre trop fortement les écrous, le frottement de la tige suffit pour la brûler en dégageant une épaisse fumée et pour échauffer fortement la tige qui y passe. On arrête cet accident en desserrant légèrement les écrous, et remplissant de suif la boîte aux étoupes, jusqu'à ce que la combustion soit arrêtée.

Si l'étoupe est brûlée ou seulement charbonnée, on la renouvelle en entier.

On doit, tous les huit ou dix jours, recharger la boîte de nouvelles garnitures, à mesure qu'elles se tassent, et après trente ou quarante jours de service, quand on s'aperçoit qu'en serrant les écrous on n'arrête plus l'introduction de l'air, et que l'étoupe, devenue très-dure, résiste à la pression, on l'arrache avec un crochet d'acier, et on la renouvelle en entier ; elle est alors noire et complètement brûlée.

L'entretien des boîtes à étoupes d'une machine est un objet si important, que le manufacturier qui ne les surveillerait pas

dépenserait une grande quantité de graisse, inutilement entraînée dans le condenseur, et, ce qui est plus grave, l'air pénétrerait par toutes les boîtes à étoupes et enlèverait à la machine une grande partie de sa force, et comme font toutes les maladies des machines, accroîtrait énormément la consommation de houille.

Aussi, quand une machine est arrêtée quelque temps pour une cause quelconque, le chauffeur doit faire la revue des boîtes à étoupes, desserrer celles qui en ont besoin, et dégarnir, s'il en a le temps, celles qui le réclament.

782. *Garnitures métalliques de MM. Legris et C^{ie}* (1). — Les garnitures métalliques de Legris sont des rondelles de 1 ou 2 millimètres d'épaisseur, composées d'un alliage métallique assez dur, dans lequel entre de l'étain et coupées de manière qu'on puisse les passer autour des tiges de piston ou autres, et les engager dans les boîtes à étoupes qu'elles doivent fermer.

Chaque rondelle, avant d'être engagée sur d'autres, est frottée de céruse en pâte liquide, et on serre par-dessus le tout le chapeau de la boîte.

Ces garnitures durent très-longtemps, coûtent très-peu de chose, et tiennent si bien le vide, qu'à l'imprimerie impériale de Paris leur emploi a fait descendre de 2 centimètres de plus l'indicateur de vide du condenseur des machines à deux cylindres qui y font le service, indicateur qui était déjà à 24 centimètres.

783. *Raccommodage des cylindres brisés.* — On indique ici le moyen de raccommoder avec solidité et propreté la chemise d'un cylindre, si elle se fend par le bas et se détache de son fond, comme cela arrive quelquefois par la gelée, quand on n'a pas la précaution de la vider complètement d'eau, au moment où on arrête une machine; la meilleure réparation, et la seule que nous ayons à conseiller, est un remplacement complet. Mais pour ne pas perdre de temps, si l'on ne peut pas avoir de long-

(1) MM. Legris et C^{ie}, 115, rue de la Roquette, à Paris.

temps une chemise nouvelle, il faut savoir réparer provisoirement celle qui est brisée.

On fait couler une plaque de fonte, qui entre dans la chemise avec assez de jeu pour la mastiquer à l'entour. On y laisse quatre ou cinq oreilles, qui s'appliquent contre les parois de la chemise. Au travers de celle-ci et de ses oreilles, on passe des vis d'acier dont la tête reste au dehors, proprement limée, ou destinée même à être arrondie pour être moins apparente. Ces vis fixent invariablement la partie supérieure de la chemise au plateau de fonte. Pour relier le tout au fond de la chemise, on y perce 8 ou 10 trous taraudés à travers le plateau, et on mastique les vis d'acier que l'on y serre fortement. Par ce moyen, les deux parties séparées de la chemise se trouvent solidement reliées. Alors on mastique en dedans, le tour du plateau avec du mastic de fonte, pour empêcher toute fuite. Une chemise ainsi raccommodée ne présente plus de trace de fente et peut travailler longtemps sans aucun inconvénient.

784. *De l'influence de la chemise sur la dépense de la machine.*— Woolf a, comme Watt, enveloppé les cylindres de ses admirables machines à vapeur, d'une chemise dans laquelle circule la vapeur qui sort de la chaudière, avant de se rendre dans la boîte de distribution et sur les pistons. Il attribuait avec raison à cette disposition une importance considérable dans la puissance dynamique de la vapeur qui travaillait sur les pistons. Mais jusqu'à présent, tout en se servant avec un grand avantage de ce système, personne n'avait mesuré ni même constaté la réalité de cet avantage. M. Farcot est le premier qui, en envoyant, pendant une réparation faite à la chemise d'une de ses machines à un cylindre, la vapeur de la chaudière directement à sa distribution, ait reconnu une augmentation de dépense de combustible, dans le rapport énorme de 6 à 10.

M. Combes soumit immédiatement cette machine à une série d'expériences en grand et complètes, et il trouva en effet les résultats suivants à travail égal :

1 ^o Consommation nette de vapeur dans le cylindre par heure, en faisant passer la vapeur dans la chemise avant de l'envoyer sur le piston,	kil. 79
2 ^o Même consommation en envoyant la vapeur travaillante de la chaudière sur le piston, et en remplissant la chemise de vapeur prise sur la chaudière,	98
3 ^o Même consommation en n'envoyant aucune vapeur dans la chemise,	150

Le savant membre de l'Académie des sciences attribue cet excédant si remarquable et si nettement constaté, de vapeur et de combustible, à ce que, quand le cylindre est exposé à une source extérieure de chaleur, la vapeur ne se liquéfie pas au moment de son introduction sur les parois du cylindre, qui était, un moment avant, en communication avec le condenseur, et par suite refroidi, et que par conséquent la vapeur contenue dans l'enveloppe réparaît ces pertes de chaleur.

Cet effet doit se produire, mais il n'explique pas le phénomène complet, car alors dans la deuxième série d'expériences, on n'aurait pas eu une consommation plus grande que dans la première; puisque la vapeur de la chaudière doit être dans les deux cas à la même température.

On n'a pas expliqué cette importante différence. Nous l'attribuons à ce que, pendant la première série, il y a dans la chemise un courant continu de vapeur, courant qui n'y laisse pas une trace d'air, et qui, on le sait, chauffe bien plus puissamment et à une plus haute température que la vapeur stationnaire; dans la seconde série, au contraire, où la chemise est seulement en communication avec la vapeur de la chaudière, cette vapeur ne peut y arriver que lentement et à mesure de la condensation. La chemise, privée de moyens d'évacuation par le haut, retient l'air que la vapeur y a apporté, et dont le premier effet est, dans les chauffages à vapeur, de réduire de plus de moitié la quantité de vapeur condensée, et par conséquent de diminuer énormément la température et la puissance de transmission de la vapeur.

Il nous paraît certain que si l'on faisait passer dans la chemise un courant de vapeur, parti de la chaudière, pendant qu'une

autre portion se rendrait directement dans les boîtes et le cylindre, on obtiendrait exactement les résultats de la première série. L'influence des chemises sur la dépense de vapeur des machines est énorme.

Les chemises sont avantageusement enveloppées de feutre et de bois, rempli même de sciure de bois ou de cendres, comme les machines du Cornouailles. (Voir 308 et 309.)

Pistons.

785. *De la meilleure disposition des pistons.* — Pendant longtemps on a fait les garnitures métalliques des pistons d'un grand nombre de pièces recevant chacune à son extrémité un coin poussé par un ressort à boudin, emmanché autour d'un goujon, et prenant son point d'appui sur le renflement intérieur du piston. Il y a toujours deux rangs de segments superposés, et dont les intervalles ouverts se contrarient, pour que la vapeur ne puisse en aucun cas passer par les vides.

Aujourd'hui, les meilleures garnitures de piston se font d'un seul ou de deux segments. Pour préparer un segment, on fond un anneau en fonte très-douce, on le martelle à froid pour accroître sa face intérieure. Après l'avoir tourné et rodé avec grand soin, à la dimension rigoureuse du cylindre intérieur, on le fend à la scie et il s'ouvre sur un diamètre un peu plus grand que celui du cylindre. Les deux segments superposés qui composent la garniture du piston sont pressés à l'intérieur par un seul 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. Quelquefois une lame de ressort courte s'appuie sur deux ergots que porte le segment, et sert de support à la vis de serrage qui presse le coin, pour que le segment s'ouvre à mesure qu'il s'use, et qu'il continue à s'appliquer parfaitement sur la surface alésée du cylindre. Lorsqu'un rang de segments est composé de plusieurs morceaux, il reçoit à chaque joint un coin de serrage, qui est pressé par un ressort à boudin ou à lame.

Le piston est formé de deux pièces principales en fonte; le plateau inférieur présentant au centre un renflement sur lequel s'appuient les ressorts de pression, et ensuite le couvercle qui y est relié, par des boulons fixés et arrêtés de manière à ne jamais brider les segments dans leur mouvement (*pl. 12, fig. 19*), la tige du piston en fer forgé est renflée au bas et reçoit le piston qui est invariablement fixé par une clavette, que l'on ouvre même, pour que le piston ne prenne pas de jeu.

786. Dans les locomotives et les machines horizontales (*pl. 38, fig. 97*) où les cylindres sont exposés à perdre leur forme et à s'ovaliser, on fixe souvent les pistons en leur permettant de tourner sur leur tige, quand on veut les changer de position, par suite d'une déformation du cylindre; mais dans les machines verticales, il vaut mieux les fixer invariablement sur la tige par une clavette solide et ouvrant, parce que le jeu que prend un piston dans l'intérieur d'un cylindre, où il est difficile à visiter et à resserrer, est toujours dangereux. Les ébranlements brusques donnés par la vapeur au moment des changements de direction du piston, sont aussi toujours très-forts.

Quand un piston, à un ou à deux segments, est entièrement ajusté et fini, on le fait entrer de force dans un cercle en tôle, qui ramène les segments à un diamètre un peu inférieur à celui du cylindre : ce cercle entre avec le piston dans la partie supérieure du cylindre qui est alésée sur un diamètre un peu plus grand, et le piston est alors facilement engagé dans son cylindre, en enlevant le cercle en tôle, par le haut. Ces cercles ont une autre utilité, c'est que, si l'on enlève un piston de son cylindre sans avoir à le démonter, le piston reste parfaitement maintenu et en ordre, et les segments et ressorts ne sont pas exposés à se déranger ou à être altérés.

Quand il y a peu de segments dans la garniture d'un piston, il faut que les ressorts employés soient beaucoup plus forts. On ferait de grandes pertes de vapeur si l'on ne leur donnait pas une force suffisante pour que des segments aussi roides et aussi résistants que celui que l'on emploie seul, soient ouverts par l'action

d'un coin et d'un ou deux ressorts. Il y a toujours danger à faire des ressorts trop faibles ; la vapeur les domine alors, et, s'ouvrant passage entre les segments et le cylindre, elle se rend au condenseur ou dans l'atmosphère, d'où résultent des pertes graves en combustible. Beaucoup de machines dépensent trop de houille et sont lourdes pour cette seule cause.

M. Farcot a employé un moyen très-ingénieux pour empêcher les pistons de ses machines horizontales, de porter fortement sur la partie inférieure du cylindre et de l'ovaliser. C'est de faire une légère entaille à chaque segment, sur le point le plus bas, sans que les entailles se rencontrent, pour que la vapeur ne passe pas d'un côté à l'autre du piston. La vapeur arrivant ainsi sous le piston, le soulève et l'empêche de frotter aussi lourdement et d'user le cylindre à son point le plus bas.

787. *De l'engorgement du piston.* — La maladie la plus ordinaire des pistons est une crasse épaisse et dure qui remplit entièrement tout l'espace vide occupé par les ressorts et s'oppose à leur action et au jeu des segments de fonte : de sorte que le piston ne formant plus alors qu'une pièce, la vapeur passe sans obstacle de l'autre côté, et la machine perd ainsi une très-grande partie de sa force. A mesure que les pistons se salissent, la puissance de la machine diminue ; mais au moment où les crasses se sont accumulées en grande quantité, et où le jeu des ressorts et des segments cesse, elle tombe tout à coup : ce n'est qu'avec les plus grands efforts qu'elle enlève sa charge, et la quantité de houille consommée devient considérable.

788. *Moyen de reconnaître si le piston laisse échapper de la vapeur, et nettoyage des pistons.* — Dans les machines à deux cylindres on reconnaît facilement si le petit piston laisse échapper la vapeur, par sa circonférence, en disposant la machine de manière que la vapeur arrive sous le piston, et laissant le robinet du plateau ouvert. La vapeur qui passe autour du piston sort alors par le robinet du plateau. Cet essai est encore plus facile dans les machines à un seul cylindre.

Quant au piston du grand cylindre, pour l'essayer, il faut

démonter le tiroir du petit cylindre, pour envoyer directement la vapeur à pleine pression sous le grand piston; il est plus court de le nettoyer de suite.

Ce nettoyage est facile : on sort les pistons des cylindres, on les démonte et on les nettoie en les lavant avec soin dans une légère dissolution de potasse à chaud, et ensuite dans de l'eau très-propre; mais on doit faire la plus grande attention, d'abord à ne pas changer la place des segments, en remontant les pistons, ensuite à renouveler tous les ressorts brisés, ou qui seraient devenus trop faibles; enfin à remettre rigoureusement les pistons dans la position qu'ils occupaient précédemment, parce que le frottement les a pour ainsi dire moulés sur la fonte, et les a fait joindre parfaitement; si on les changeait de place, il faudrait souvent plusieurs jours de travail pour opérer le même rodage; jusque-là les pistons laisseraient échapper beaucoup de vapeur, et la machine serait lourde.

789. *Des ressorts.* — Les ressorts doivent être trempés assez fortement pour presser sur les segments et les forcer à joindre avec les cylindres, malgré la résistance occasionnée par le frottement qu'ils exercent les uns sur les autres; mais il faut éviter de les employer trop roides ou trop longs; on userait en peu de mois les segments, et il deviendrait nécessaire de les renouveler : en outre, en serrant les segments avec une petite corde ou un cercle, pour faire entrer le piston dans le cylindre, on pourrait briser les ressorts.

Il faut aussi s'assurer, quand le piston est remonté et prêt à entrer dans le cylindre, que tous les segments jouent librement et avec facilité, en les pressant à fond avec la main. Si l'on sent une résistance autre que celle de l'élasticité des ressorts, on peut être certain qu'elle est due au dérangement d'une pièce, et il faut enlever le plateau qui couvre le piston pour rétablir tout en ordre. On a vu souvent un des petits coins, sorti de son prisonnier, briser des ressorts, pousser, par sa fausse position, un des segments avec assez de force pour l'user complètement, et venir lui-même frotter et se limer contre le cylindre. Il est dangereux

d'employer des ressorts trempés trop durs ou trop bandés, ou de ne pas donner assez de soins à leur ajustement, parce que, quand ils se brisent, un morceau peut s'engager entre les segments de fonte et rayer profondément le cylindre. C'est la cause la plus ordinaire de cet accident, et il n'y a pas d'autre remède que de les aléser.

La préparation des ressorts est simple, bien qu'elle demande quelques soins. On prend du fil d'acier fondu, de 1 millimètre $1/2$ environ de diamètre, bien recuit; puis, ajustant à un vilebrequin une tige de fer tournée, d'un diamètre un peu plus petit que celui des ressorts à obtenir, on attache le bout du fil d'acier au vilebrequin, et tournant celui-ci pendant qu'un ouvrier tient le fil à la main et le laisse couler lentement sur un morceau de bois, on le roule en boudin autour de la tige de fer rond, dans toute sa longueur; on l'enlève ensuite de la tige, en desserrant légèrement le boudin de fil d'acier, puis on écarte chacun des anneaux de l'anneau suivant, en faisant passer le tout successivement comme une vis sur le côté d'un burin ou d'un morceau de fer, dont l'épaisseur détermine l'écartement de chacun des tours du boudin.

On trempe ensuite les ressorts, en chauffant toute leur longueur jusqu'au rouge cerise. L'égalité parfaite de la chauffe fait la bonté des ressorts et en prévient la rupture; on doit pour cela les chauffer sur un feu de charbon de bois bien embrasé, et les jeter dans l'eau froide. Ils se trouvent ainsi trop fortement trempés : pour les recuire, on les essuie, on les frotte d'huile, puis on les met sur des charbons de bois ardents jusqu'au moment où l'huile s'enflamme, alors on les jette de nouveau dans de l'eau, et leur degré de trempe est bon.

On peut aussi les recuire en les plongeant dans du plomb fondu; ce procédé est même plus sûr, et donne une trempe plus régulière que la trempe à l'huile, qui demande une main exercée. Les ressorts d'acier employés dans les soupapes se trempent par le même procédé.

790. *De la longueur à donner à la tige des pistons.*—Pour perdre moins de vapeur, et ne pas laisser d'eau au fond des cylindres,

ce qui est une condition très-importante pour l'économie de combustible d'une machine, on fait descendre les pistons le plus bas possible, sans cependant toucher le fond. M. Hall ne laisse que 4 ou 5 millimètres de jeu. Mais quelquefois les pistons arrivent si près du fond du cylindre, que si les clavettes, soit de leur tige, soit du parallélogramme, se relâchent, ils le touchent et peuvent le briser. On reconnaît facilement cet accident aux coups que l'on entend au fond du cylindre : il faut arrêter de suite la machine, enlever alors la clavette, qui attache la tige du piston au parallélogramme; ce qui se fait en soutenant pendant ce temps le piston au moyen de deux mâchoires en bois (*pl. 17, fig. 49*) qui embrassent sa tige. On passe au travers de ces mâchoires deux boulons (ceux de la boîte à étoupes, par exemple), que l'on serre fortement, pour que le piston appuyé ainsi sur la boîte à étoupes ne puisse plus descendre. Quand la clavette est enlevée, on fait monter le balancier, qui emporte avec lui la tête de la tige du piston, et on peut buriner et limer l'extrémité de cette tige, pour en diminuer la longueur, et empêcher par conséquent la pièce qui touchait, de descendre trop bas. On abaisse d'une quantité égale la mortaise de la clavette, pour que celle-ci puisse conserver du serrage. On redescend le balancier, on fait entrer la tête du piston sur la tige, on remet la clavette, et on n'oublie pas surtout de l'ouvrir, de peur qu'elle ne se desserre.

791. *Clavette du piston qui échappe.* — Si cette clavette venait en effet à s'échapper de sa mortaise, le piston, qui ne serait plus lié au parallélogramme, serait lancé avec une force et une vitesse effrayantes, tantôt contre le plateau, tantôt contre le fond du cylindre, et ne pourrait manquer de les briser ou de rompre le balancier par le choc de sa tige; nous en connaissons plusieurs exemples. Dans ce cas, comme dans tous les accidents imprévus, il faut fermer le robinet d'introduction de la vapeur et ouvrir ceux qui sont placés sur les cylindres pour arrêter la machine.

792. *Tige trop courte.* — Quelquefois aussi la tige des pistons ou le cylindre lui-même sont trop courts, et le piston montant au-dessus du trou qui amène la vapeur dans le haut du cylindre, le

ferme en partie, ou au moins gêne la marche de la machine, en s'opposant à l'entrée de la vapeur. Le seul remède est de changer la tige du piston, la manivelle ou les cylindres, suivant la circonstance. Il ne faut donc pas oublier, quand la machine est montée, avant de mastiquer les cylindres, de s'assurer que la course des pistons est bien réglée.

793. *Du jeu que prennent les pistons sur leurs tiges.* — Quelquefois la clavette qui serre le gros piston, ou l'écrou qui serre le petit piston, sur leurs tiges, prennent du jeu, quoique l'une soit ouverte et l'autre rivé. On entend alors les pistons, poussés par la vapeur au moment où elle agit par-dessous, être lancés avec un choc contre la clavette ou contre l'embase, sur lesquelles ils devraient être pressés invariablement. L'oreille suffit pour indiquer avec évidence que ce bruit a lieu dans l'intérieur des cylindres; on conçoit facilement qu'il n'ait lieu qu'en bas et non pas en haut de la course des pistons, puisqu'en haut leur poids seul, équilibré pendant leur course par la vapeur, les fait redescendre de toute la quantité dont ils sont libres, à mesure que la vapeur se détend; à l'extrémité inférieure de la course, au contraire, leur poids les maintenant au bas de l'espace laissé libre par la clavette et l'écrou, la vapeur qui arrive avec force en dessous le leur fait franchir violemment. Il faut, dans ce cas, enlever les pistons des cylindres, élargir la clavette si elle est refoulée, ou river avec soin l'écrou après l'avoir fortement serré.

794. *Rupture de la tige du piston.* — Il arrive quelquefois des ruptures de la tige du piston, soit par suite de défauts, soit aussi parce que le fer perd de sa ténacité par une longue série de coups répétés ou d'ébranlements trop forts. A la moindre gerçure, il faut visiter soigneusement les tiges et les changer, leur rupture occasionne des accidents très-graves dans le cylindre ou sur le balancier, etc.

795. *La tête du piston ne doit pas tourner.* — La clavette de la tête de la tige des pistons doit être assez serrée pour que cette tête ne tourne pas et ne joue pas sur l'arbre qui la traverse, mais l'arbre lui-même ne doit pas tourner dans les grains de bronze qui

portent ses tourillons. Quand l'arbre tourne dans la tête du piston, comme il tourne à sec, on entend un frottement très-dur, et le cri aigu du fer qui s'use contre la fonte; et il y a bientôt assez de jeu pour donner un choc. Un coup de maillet ou de marteau sur la clavette, et la précaution de l'ouvrir plus à fond, suffisent pour arrêter ce bruit.

Tels sont les soins que réclament les pistons métalliques, de quelques constructions qu'ils soient.

796. *Des segments.* — On a pendant longtemps employé exclusivement le bronze à la confection des segments dont se composent les pistons des machines à haute pression. Depuis quelques années on a remplacé le bronze par la fonte douce et d'un grain très-fin. La différence de qualité entre la fonte des cylindres et celle des segments suffit pour que les frottements soient très-doux. Les surfaces en contact se polissent et se glacent, et les résultats donnés par l'emploi de la fonte sont très-bons. On avait cru y trouver une beaucoup plus longue durée qu'avec le bronze, mais il n'en est rien, et l'usure des pistons est à peu près la même. Seulement on emploie moins de suif à graisser les pistons de fonte que ceux de bronze, et, outre l'économie directe, il en résulte l'avantage de ne pas salir autant les machines.

Pour que les segments soient dans les meilleures conditions de service, il faut qu'ils soient préparés avec de la fonte de première qualité, à grain très-serré et sans soufflures.

Les habiles auteurs du *Guide du mécanicien constructeur de locomotives* ont constaté qu'aucune autre matière ne devait être employée pour les segments des pistons.

797, *Pistons des machines à basse pression.* — Quant aux pistons des machines à basse pression, ils ne se salissent pas comme ceux des machines à haute pression, et ne demandent à être démontés que quand les tresses de chanvre qui les entourent commencent à s'user et à laisser passer la vapeur. Il faut avoir soin de serrer fortement les tresses graissées que l'on y remet, et de faire entrer le piston à force dans le cylindre, parce que le frottement lui donne promptement assez de jeu.

Tous les quinze jours, on est obligé de démonter les pistons pour les regarnir en partie, et en totalité toutes les six semaines. La consommation d'étoupes et de suif qu'ils exigent est énorme. On emploie aujourd'hui, dans les machines à basse pression les mieux montées, des pistons à segments de fonte, et l'économie de suif obtenue ainsi à la manufacture royale de tabac de Paris, a été trouvée des $\frac{2}{3}$ au moins de la consommation précédente.

Il vaut toujours mieux, dans les machines à basse pression, substituer des pistons métalliques, aux pistons garnis de chanvre; les frais d'entretien et la dépense de suif sont bien moins considérables. C'est ce que nous avons dit plus haut en parlant des frais d'entretien des machines à basse pression de la manufacture de tabacs de Paris.

Entablement et Balancier.

798. *Invariabilité de l'entablement.* — On trouvera, dans l'article relatif à la pose des machines, les soins à prendre pour que l'axe de rotation du balancier soit parfaitement horizontal, condition indispensable au règlement du parallélogramme et à la conservation des grains de la bielle et de la manivelle, et sans laquelle une machine dépense inutilement beaucoup de force perdue.

L'entablement d'une machine à vapeur prend quelquefois du mouvement dans les murs qui le supportent, parce que les tourillons du balancier agissent, à chaque course des pistons, sur l'entablement, au bout d'un bras de levier fort long, et tendent à le faire tordre. Ce défaut est presque inévitable, quand l'entablement est fixé par des boulons à des pièces de bois placées dans les murs. Le bois ne fait jamais corps avec la maçonnerie, il s'en détache, s'ébranle rapidement, et le mouvement qui en résulte communique une secousse fâcheuse à toute la machine, et altère la verticalité des tiges de piston.

Les mécaniciens doivent éviter d'attacher des pièces de fonte

à des pièces de bois, toutes les fois qu'ils peuvent les fixer à la pierre de taille, surtout quand ces pièces ne sont reliées qu'à de la maçonnerie. C'est seulement sur la pierre de taille que des machines peuvent être solidement et invariablement établies. Il faut donc fixer l'entablement à des pierres de taille, dans lesquelles on scelle des boulons avec du plâtre et de la limaille de fonte, et placer d'autres pierres par-dessus les premières.

799. *Entablements à T.* — Pour éviter cet inconvénient dans les fortes machines, on donne aux entablements deux croix dont les extrémités sont portées sur quatre colonnes qui s'opposent à tout mouvement latéral, comme on les voit tracées (*pl. 2, fig. 2*). Nous avons atteint le même but dans les petites machines, en coulant les deux extrémités de l'entablement en croix : cette croix se trouve posée, et même, si l'on veut, boulonnée dans les deux murs de la chambre de la machine, sur une pierre de taille, et recouverte par une autre pierre très-forte ; de sorte que le mouvement devient impossible, à moins qu'il ne s'opère dans l'entablement un léger mouvement de torsion qui ne se communique pas jusque dans le mur. ♦

800. *Du jeu que prennent les boules du balancier.* — Quelquefois les boules (*pl. 1^{re}, fig. 1^{re}*) des têtes du balancier prennent du jeu et occasionnent dans la machine une secousse assez forte, et dont la cause est difficile à reconnaître. On y parvient cependant avec quelque expérience, en posant la main sur les boules pendant que la machine marche, après avoir cherché inutilement la cause de ce choc dans la tête de la bielle, dans la manivelle et dans le parallélogramme, et on corrige ce défaut en démontant à moitié la boule, faisant entrer dessous une feuille de cuivre mince qui ôte tout le jour, et forçant, à grands coups de maillet, la boule à rentrer à sa place par-dessus la feuille de cuivre.

Des ruptures du Balancier.

Nous avons été appelé à donner notre avis dans plusieurs faits de rupture de balancier, et comme ce sont des accidents

graves qui entraînent toujours des réparations fort coûteuses et des chômages très-longs, nous rendrons compte des trois cas principaux qui se sont présentés à nous.

801. *Balancier d'une machine de 30 chevaux, rompu par les chocs que donnait le piston à son passage supérieur, et surtout à son passage inférieur.* — Une machine à deux cylindres avait parfaitement travaillé près de quinze ans dans une filature; les deux cylindres étant usés et percés, furent remplacés par un cylindre unique qui devait marcher avec une détente de 1 à 5 au moins.

Pendant le temps de son service, la machine à deux cylindres, avec un travail de 30 chevaux, consommait régulièrement 2 k. 89 de houille par cheval et par heure; avec son cylindre percé elle brûlait 4 k. 89. La chaudière, comme nous l'avons constaté par une expérience sur l'eau du condenseur, produisait 6 k. 03 de vapeur pour 1 kil. de houille. Le mécanicien avait garanti pour sa nouvelle machine, 30 chevaux reconnus au frein et 3 kil. de houille par cheval. Après de nombreux essais et une expertise, le cylindre et ses accessoires, montés par le mécanicien, avaient plusieurs défauts très-graves.

1° Le cylindre était trop court, sans doute par une erreur de moulage;

2° Les orifices de vapeur étaient trop rapprochés et recouverts de près de moitié par le piston, à chaque course, celui du bas surtout;

3° Le fond du cylindre était fait de manière à rendre un bon masticage impossible;

4° Le plateau était fixé sur le cylindre par des tire-fonds, au lieu de boulons traversant des collerettes;

5° A chaque changement de direction du piston, surtout au passage inférieur, il se produisait des chocs très-violents dont nous avons reconnu la persistance et la profondeur, et qui ébranlaient toutes les pièces de la machine et les massifs, soulevaient les colonnes, qui avaient déjà pris du jeu et se prolongeaient jusque dans les transmissions de la filature;

6° De toutes ces mauvaises conditions résultait une dépense de houille de 5 kil. 24.

Tous les défauts que nous avons précisés plus haut étaient si graves, que le changement du cylindre pouvait seul y remédier, c'est ce que nous avons dit dans notre avis, en développant ensuite chacun des défauts précités.

La cause de ces ébranlements se trouve d'abord dans le recouvrement de moitié de l'ouverture du bas, ouverture qui devrait laisser un large passage au moment où le tiroir, entièrement ouvert, envoie sous le piston une grande masse de vapeur, à pleine pression; au lieu d'étrangler à moitié ces passages, disposition d'où résultent des résistances qui se traduisent toujours, comme on le sait, en chocs.

On observe de plus ces ébranlements, comme nous l'avons déjà dit, dans presque toutes les machines à vapeur à un cylindre, à grande détente et à condensation, par suite de la différence énorme entre la charge que supporte le piston au moment où il termine sa course avec de la vapeur détendue de 1 à 6, et l'effort si puissant qu'il reçoit au commencement de sa course ascendante, avec de la vapeur à 5 ou 6 atmosphères. Cette différence de charge était si réellement l'une des causes des chocs, que le constructeur, au lieu de détendre de 1 à 5, comme il l'avait projeté, avait réduit la détente à 2 1/2 fois le volume primitif de vapeur, sans arrêter pourtant les chocs.

En résumé, nous avons dit, dans notre avis, que si on n'enlevait pas de suite le cylindre, il résulterait de ces chocs les ruptures les plus graves dans la machine à vapeur.

En effet, peu de jours après la remise de notre avis au tribunal, la machine ayant continué à fonctionner jusqu'à nouvel ordre, avec le malheureux cylindre, le balancier a été rompu en deux parties.

La machine entière a été remplacée ensuite par une machine de 40 chevaux à deux cylindres qui, depuis 1850, n'a pas éprouvé un dérangement.

802. *Rupture du balancier d'une machine à vapeur accouplée*

à une autre machine semblable, et rupture d'un balancier de la machine d'un établissement hydraulique, toutes les deux dues à des tassements dans les massifs qui les portaient. — Au mois de décembre 1854, le balancier de l'une des deux machines à deux cylindres et de 25 chevaux, qui conduisent une filature de lin, fut rompu sans que le mécanicien eût rien vu qui pût annoncer cet événement; le balancier se trouva cassé en deux endroits, au point d'attache du petit parallélogramme, et entre l'axe de rotation du balancier et la bielle. La tige du grand piston est courbée et la bielle cassée près de la manivelle, mais elle paraît avoir été cassée en tombant sur la rampe en fer qui entoure le vide de la manivelle.

En enlevant le grand piston, on trouve DESSOUS 45 ou 50 millimètres d'eau; la clavette du grand piston est forcée, la partie convexe en bas; la fonte de la bielle et du balancier, sans être de première qualité, n'est pas mauvaise; leur cassure est très-nette. L'expert nommé par le tribunal a pensé que cette rupture était due à un coup d'eau, c'est-à-dire à 45 ou 50 millimètres d'eau que l'on a trouvés dessous le grand piston, volume d'eau qui, d'après le sens de courbure de la clavette, a dû amener le choc dans la course ascendante du piston, et qui n'a dû passer sous le piston que depuis la rupture de la machine; l'expert conclut qu'il n'y avait pas vice de construction.

Appelé à donner notre avis sur ce rapport et sur les causes de la rupture, nous avons dit d'abord que la présence de l'eau trouvée sous le grand piston n'avait rien que de tout simple, cette capacité étant restée, depuis l'accident, assez longtemps en communication avec le condenseur, dont le robinet d'injection d'eau froide était aussi ouvert. L'intervalle libre entre le grand piston et le couvercle avait bien plus de hauteur que les 50 millimètres d'eau trouvés non pas dessus, mais dessous le piston, ce qui rendait impossible tout choc dû à l'eau, avec cette position; dans cet état de choses, les causes évidentes de la rupture manquant tout à fait, nous devons chercher la lumière dans les faits antérieurs ou accessoires. Voici ces faits :

1° Les deux machines accouplées qui font l'objet de la contestation ont été montées trois ans avant par MM. le Gavriand et Farinaux de Lille ;

2° L'une des machines, depuis sa mise en activité, n'a pas éprouvé un accident, ni même un simple dérangement ;

3° L'autre, au contraire, celle qui vient de se briser, a eu son balancier rompu deux fois depuis sa mise en activité, exactement comme il venait de se rompre une troisième fois ; elle avait exigé des arrêts nombreux et forcés pour la reniveler et la redresser, son cylindre, surtout, perdant constamment son aplomb ;

4° Un dernier renivellement, qui avait pris douze jours, avait été fait par un monteur habile au commencement de novembre, et cependant le cylindre avait déjà perdu son aplomb de six ou sept millimètres, lors du dernier accident.

Quelle est donc la cause de ces graves ruptures ?

Voilà deux machines toutes pareilles, fournies par une des meilleures maisons de mécanique de France, montées avec les mêmes soins, mises en activité le même jour, l'une d'elles fonctionne à pleine satisfaction depuis trois ans et n'a pas éprouvé la plus petite avarie, même, par suite de ce triple accident, les pièces rompues, l'expert le constate dans son rapport, sont bien proportionnées, et la fonte très-saine et de qualité suffisante.

L'autre machine, au contraire, éprouve à tout moment des dérangements profonds, et trois ruptures de balancier en trois ans.

Un fait qui se représente toujours avec une constance si fatale, est évidemment la cause des trois accidents ; c'est que depuis trois ans une des machines, celle qui est toujours brisée, a éprouvé et éprouve encore aujourd'hui un trouble grave dans son montage, des tassements continus dans les massifs qui la portent, et surtout dans celui qui porte le cylindre.

Un examen très-attentif fait sur place de la construction des deux massifs et du sol sur lequel ils reposent, montrerait probablement la cause véritable de ces tassements inégaux qui agissent si différemment sur deux masses semblables de ma-

çonnerie. De pareils tassements sont très-fréquents avec des constructions faites sur le bord des rivières et dans des vallées comme celle de la Somme, là surtout où existent de grandes masses tourbeuses.

Des tassements ainsi prolongés, sont une cause de trouble profond et d'arrêt forcé pour la machine qui les éprouve; mais s'ils agissent sur une machine accouplée à une autre machine, par un arbre unique et invariable en fer forgé, qui ne peut se rompre, si l'autre machine ne tasse pas du tout, la machine déjà désorganisée et dénivelée, dont le balancier éprouve des efforts latéraux, et contraires, sous l'action d'une manivelle inflexible et d'un piston qui forcent l'axe du balancier à se déplacer, entraîné de plus par un volant puissant et par la seconde machine qui continue sa course, cette machine doit forcément briser son balancier; si l'arbre d'accouplement était en fonte, l'arbre seul serait rompu.

Il arrive ici, avec deux machines à vapeur dont l'une tasse seule, ce qui se présente dans un bâtiment dont la moitié est élevée sur un terrain solide et inébranlable, comme par exemple une vieille construction imprudemment conservée et dont l'autre repose sur un sol mal résistant : une partie du bâtiment tasse et descend, et l'autre ne suivant pas le mouvement, il y a déchirure forcée des murs; l'arbre qui réunit ici les deux machines ne pouvant ni rompre, ni plier, c'est la machine dénivelée qui se brise. L'expérience des ateliers est d'accord avec le raisonnement, pour prouver que deux machines à vapeur, ou une machine à vapeur et une roue hydraulique accouplées d'une manière invariable, éprouvent souvent des accidents de ce genre.

La question la plus grave et la plus délicate, est celle des mesures à prendre pour prévenir une quatrième rupture, qui évidemment serait toujours imminente, si l'on n'allait pas au fond des choses.

Il faut d'abord tâcher de reconnaître sur place, la véritable cause des tassements qui ont été si funestes et les travaux à faire pour rendre à ces massifs plus de fixité, par des pilotages qui

entoureraient le massif et y seraient reliés au moyen de moises par exemple.

803. Il faut ensuite changer le mode d'accouplement des machines, couper l'arbre qui porte les deux manivelles et les réunir par un système de manchons, comme celui qui sert souvent à accoupler sans danger une machine à vapeur et une roue hydraulique, et qui évite toute rupture résultant des variations de vitesse des deux moteurs.

C'est un accouplement sur le principe de la clef de montre de Breguet. Les deux parties du manchon sont réunies par des dents qui glissent l'une sur l'autre, sans transmettre de mouvement à l'arbre, quand cet arbre tourne dans un sens, et qui, au contraire, s'agrafent invariablement et transmettent le travail à l'arbre, quand celui-ci tourne dans le sens opposé; un pareil système permet évidemment des changements de vitesse, des efforts latéraux, ou des tassements importants, sans qu'il en résulte aucune rupture.

Ainsi, la consolidation du massif qui tasse, consolidation qui ne peut être précisée que d'après la nature du terrain, la disposition et les épaisseurs des maçonneries des massifs et un mode d'accouplement qui permette les mouvements inégaux entre les machines, c'est là, en pareille circonstance, le conseil à donner; mais ce qu'il y a de certain, c'est que les ruptures ont été causées par les tassements de l'un des massifs par un système d'accouplement trop inflexible, et non pas par un *coup d'eau*.

L'expérience vient encore corroborer notre raisonnement : nous n'avons jamais vu de machine brisée par un coup d'eau, mais plusieurs par des dénivellements. Nous pouvons citer encore l'une des machines à vapeur qui faisait le service hydraulique de Clichy-la-Garenne, et qui a brisé son balancier par suite du tassement des massifs; nous avons été un des arbitres juges dans cette affaire.

Parallélogramme.

804. Quelque importante que soit la connaissance complète

du parallélogramme, nous ne donnerons pas ici les procédés employés pour le tracer et le construire. L'ouvrier chargé du soin d'une machine à vapeur trouve son parallélogramme en place; il lui suffit de savoir le monter, le régler, et de pouvoir en reconnaître les défauts. Prenons pour exemple le cas le plus difficile, celui où le parallélogramme d'une machine à deux cylindres est tellement dérangé, où les grains de cuivre sont tellement fatigués, qu'il devient nécessaire de le démonter en entier.

805. *Du nettoyage du parallélogramme.* — Le premier soin est de bien séparer toutes les pièces, de manière à les remettre exactement en place, c'est-à-dire à ne pas changer de côté les pièces semblables, comme les bras qui soutiennent les arbres auxquels sont attachées les tiges de piston. Quand une pièce est ajustée pour une place et des tourillons spéciaux, et qu'on la change de côté, elle occasionne des frottements nouveaux, et rend souvent la machine lourde.

En démontant le parallélogramme, on en repère les pièces avec soin, si elles ne le sont pas d'avance. On les nettoie l'une après l'autre, pour ne pas mêler les clavettes, les grains de cuivre, ou les vis qui appartiennent à chacune d'elles; et pour éviter toute erreur, on remonte chaque pièce après qu'elle est nettoyée.

S'il faut employer l'émeri fin et laver à l'eau, pour enlever les taches de rouille, on doit prendre beaucoup de précautions pour n'en pas laisser dans les grains de cuivre, qui seraient bientôt usés.

806. *De l'usure des grains.* — L'accident le plus fréquent des parallélogrammes, est l'usure des grains de cuivre, occasionnée par la négligence des chauffeurs, qui serrent trop fortement les clavettes ou les laissent trop lâches. Dans le premier cas, ce frottement extraordinaire échauffe les grains et les lime; dans le second, les choes continuels les écrasent et les usent. On trouvera dans la 4^e partie, un article sur les procédés à suivre, pour entretenir et réparer les grains usés ou échauffés, et, à l'article

des grains, la composition d'un alliage qui se coule sur le tourillon même qu'il doit porter.

Quand les coups que donne une machine sont dus à une clavette desserrée, il suffit de la resserrer avec un maillet en bois ou un marteau de cuivre; un marteau de fer écraserait et déformerait bientôt les pièces du parallélogramme. Lorsque les grains de bronze se touchent, par suite d'usure, et que la clavette ne peut plus serrer, il faut ou les recharger d'une feuille de cuivre, comme nous le dirons plus loin, ou en limer les côtés pour leur donner du serrage.

807. *Montage de ses pièces.* — Quand toutes les pièces du parallélogramme sont ainsi nettoyées et remises à neuf, on les remonte, en prenant soin, nous le répétons, de ne pas changer de côté les pièces semblables et de les placer, en outre, dans leur véritable sens, et en faisant attention aux lumières que l'on a réservées dans chaque pièce pour graisser les grains. Ces lumières doivent se trouver à la partie supérieure des pièces, comme dans le bras de rappel, ou en dehors, comme dans les bras des pistons, pour que le graissage soit facile. Si l'on satisfait à ces deux conditions, et que l'on mette la tête des clavettes du côté de la colonne, il est impossible de se tromper. Lorsque tout est en place, que les tiges des pistons sont entrées dans leur tête, et fixées par les clavettes que l'on a ouvertes au burin, les bras de la colonne boulonnés à l'entablement et les bras de rappel à leur place, il ne reste plus qu'à régler le parallélogramme de manière qu'aucune pièce ne fatigue, que les tiges des pistons soient parfaitement parallèles, et restent perpendiculaires pendant toute leur course. Toutes les conditions indiquées ici doivent être rigoureusement observées, pour que le parallélogramme soit bien réglé, et la machine en état de soutenir sans fatigue un long et fort travail.

808. *Son règlement.* — La première opération est de s'assurer que l'axe *a* (pl. 18, fig. 43) de la traverse de la colonne, et la ligne horizontale *ab* qui passe par cet axe, partagent exactement en deux parties : 1° la course de la tête *c* du grand piston; 2° l'arc de

cercele cbd du bras de rappel. On le vérifie en mettant la manivelle au plus haut et ensuite au plus bas de sa course, et mesurant dans chacune de ces positions extrêmes la distance perpendiculaire des points les plus élevés et les plus bas, à la ligne horizontale ab , passant par la tête a de la colonne; d'abord pour l'arc de cercele décrit par le bras de rappel, ensuite pour l'axe e de l'arbre du grand piston; et si l'arc de cercele n'est pas partagé rigoureusement en deux, on raccourcit la colonne, ou on l'allonge au moyen de rondelles de fer, jusqu'à ce qu'elle partage cet arc de cercele en deux parties égales. Si alors la course de la tête e du piston n'est plus partagée en deux par une ligne horizontale passant par l'axe a de la traverse de la colonne, et le milieu de l'arc du cercele cd du bras de rappel, on baisse le point où s'attache le piston, ou on le relève en rechargeant les grains de cuivre par-dessus ou par-dessous. La plus grande exactitude est nécessaire pour cette vérification, d'où dépend tout le règlement du parallélogramme.

Quand une machine est bien construite et bien montée, au moment où le balancier est horizontal, il doit se trouver exactement au milieu de sa course. Dans cette position, les axes e de la tête du piston et le bras de rappel, c'est-à-dire les axes de la colonne et des ellipses du condenseur et du piston, doivent être parfaitement de niveau; quelquefois cependant le balancier ne se trouve pas horizontal quand il est au milieu de sa course; c'est un défaut de montage qui n'a pas d'autre inconvénient que de forcer à changer les proportions de la colonne, pour que son axe partage en deux l'arc de cercele du bras de rappel et la course du piston. On doit cependant l'éviter quand on monte une machine, parce que les parallélogrammes sont construits pour que le balancier monte et descende d'une quantité égale au-dessus et au-dessous du niveau de son axe de rotation.

809. On s'occupe ensuite de rendre les tiges des pistons parfaitement parallèles, jusque dans les positions extrêmes. Pour cela, les pistons étant au sommet de leur course, on prend, avec une règle, la distance qui se trouve entrè les deux tiges,

auprès des boîtes à étoupes, puis remontant jusqu'en haut, la règle que l'on a coupée à la longueur exacte, on voit avec la plus grande facilité si l'intervalle des deux tiges est partout égal : s'il ne l'est pas, on approche ou on éloigne la tige du petit piston de celle du grand, au moyen des quatre écrous du chariot qui conduisent l'ellipse et les bras du petit piston.

Ce mouvement s'opère en desserrant les deux écrous du côté où l'on veut pousser la tige, et serrant d'une quantité égale les deux écrous opposés, de manière à ne pas maintenir les bras trop serrés, mais à y laisser un peu de jeu, principalement du côté du grand piston; car alors, surtout si la tige de ce piston fléchit, les tringles du chariot pourraient se briser par l'effort qu'elles supportent; il faut, en même temps, vérifier cet écartement des tiges des pistons, en le comparant à la distance des axes des deux cylindres que l'on doit connaître d'avance, et qui doit leur être égale.

810. *Tringles articulées du chariot.* — Nous disons que les tringles du chariot sont exposées à se briser. C'est un des accidents les plus fréquents des parallélogrammes. En effet, quand les grains des bras du petit piston viennent à s'user, si on serre les clavettes de ces bras, on fait remonter l'ellipse du petit piston et on force les bras du chariot, qui se brisent. C'est pour éviter cet accident que plusieurs constructeurs les font à articulation; tout danger est ainsi évité, sans rien changer aux conditions d'un parallélogramme bien proportionné.

811. Mais ce n'est pas assez de rendre les deux tiges de piston parfaitement parallèles, il faut encore qu'en faisant avancer d'un côté ou de l'autre l'arbre qui porte celle du petit piston, on le fasse marcher carrément, c'est-à-dire que le côté droit, par exemple, ne marche pas plus que le côté gauche. Pour s'en assurer, on mesure avec un grand compas la distance de l'axe de l'arbre du grand piston, à l'axe f de l'ellipse du petit piston; cette distance doit être égale des deux côtés du balancier. Si elle ne l'est pas, on l'égalise au moyen des quatre écrous de l'ellipse, qui servent, comme on le voit, à mettre les deux tiges

parallèles et les arbres qui les portent d'équerre sur l'axe du balancier.

De plus, la distance de l'axe e de l'arbre du grand piston à celui f de l'ellipse, de même que la distance de l'axe f de l'ellipse du petit piston à l'axe g de l'ellipse du condenseur, doivent être égales aux distances no et op des tourillons qui portent les bras du grand et du petit piston et du condenseur : sans quoi les quatre côtés du parallélogramme, qui doivent être parfaitement égaux deux à deux, ne seraient pas parallèles, et la course des pistons ne pourrait jamais être perpendiculaire, ce qui serait un défaut grave de construction ; on vérifie ces distances au compas.

On s'assure aussi qu'il y a une distance égale des deux côtés du balancier, entre l'axe f de l'ellipse du petit piston et celui b de l'ellipse du condenseur, ce qu'on régularise au moyen des écrous placés au bout du chariot.

812. Quand les tiges des pistons sont ainsi parfaitement parallèles et le parallélogramme d'équerre sur l'axe du balancier, que les distances des différents bras entre eux ont été parfaitement réglées et vérifiées, on s'assure que la traverse de la colonne rz est perpendiculaire à l'axe du balancier.

Pour cela, on prend au compas la distance entre le centre f de la tête du grand piston, marqué par la pointe du tour, et chacune des extrémités de la traverse cc . On trouve toujours sur la partie supérieure du bras de rappel, des coups de pointeau, ou des trous pour graisser les grains. C'est sur ces lumières que l'on peut se régler avec le plus de certitude ; il faut que ces deux distances ef et cf soient égales entre elles, c'est-à-dire que les deux côtés du triangle que forment les deux bouts de la colonne, avec le centre de la tête du grand piston, soient égaux : autrement la traverse de la colonne serait gauche, et par le moyen du bras de rappel, elle forcerait, à chaque coup de piston, le parallélogramme à se jeter de côté. En même temps les bras de la colonne eg et eh seraient alternativement tendus ou courbés, et si la différence était trop grande, une des pièces serait brisée. Cependant

la tête du piston n'est pas toujours exactement sur le grand axe du balancier, c'est-à-dire au milieu de la largeur du parallélogramme; quand ce défaut existe, il faut prendre les mesures de manière à mettre la traverse de la colonne, et par conséquent le parallélogramme, d'équerre, non plus sur la tête des pistons, mais sur le grand axe du balancier, à l'aplomb de son point de centre. C'est à l'aide des deux bras de la colonne *cg* et *ch*, qui vont se fixer dans l'entablement au moyen de quatre écrous, que l'on règle la colonne, en raccourcissant ou en rallongeant l'un ou l'autre de ces bras.

813. Quand toutes les pièces du parallélogramme sont ainsi parfaitement réglées, et les deux tiges des pistons parallèles, on examine avec un fil à plomb si elles sont perpendiculaires; si elles ne le sont pas, et qu'elles penchent, par exemple, du côté de la colonne, il faut les faire rentrer en ramenant la colonne et tout le parallélogramme, au moyen des bras de la colonne, desserrant par conséquent les écrous qui sont du côté des cylindres, et serrant derrière l'entablement ceux qui sont placés du côté de la roue de volée.

Après avoir ainsi réglé la marche de la tête du grand piston, celle de la tête du petit piston se détermine facilement. Il suffit de savoir pour cela que l'axe *lk* de ce dernier, ou mieux de son arbre, comme celui *g* du condenseur, doivent être placés exactement sur une ligne droite, qui va de l'axe de l'arbre du grand piston à l'axe de rotation du balancier. On remonte et on descend l'arbre du petit piston, s'il n'est pas rigoureusement sur cette ligne, en chargeant ou limant les grains de cuivre de ses bras, ce que l'on vérifie en tendant un fil de l'un à l'autre de ces axes.

Il en est de même de l'arbre *g* du condenseur, qui se trouve sur la même ligne et se règle par le même principe. Cependant il y a moins de danger à laisser une légère erreur dans le règlement de cet arbre, parce que sa tringle a une grande longueur et des articulations qui lui donnent assez de jeu pour qu'il n'y arrive jamais d'accident.

Quand les tiges des pistons sont ainsi parfaitement perpendiculaires et parallèles; quand la course des bras de rappel et celle de la tête du grand piston sont coupées exactement en deux parties égales par la ligne horizontale, qui passe par l'axe de la traverse de la colonne; quand la traverse de la colonne et les divers bras du balancier sont placés d'équerre sur l'axe de la machine; quand les arbres des deux pistons et du condenseur ont leurs axes sur une ligne qui va de celui du grand piston à l'axe de rotation du balancier; et quand de plus les deux cylindres sont verticaux et parallèles entre eux, on peut être sûr que le parallélogramme est bien réglé, et que les tiges de piston descendront verticalement.

814. *Le régler au bas de la course.* — En tout cas, les manufacturiers ou les chauffeurs qui hésiteraient, dans quelques-unes de ces vérifications, agiront prudemment en réglant le parallélogramme au bas de sa course, en ce qui concerne l'écartement des tiges de piston; celles-ci ont assez de flexibilité pour se plier sans un grave inconvénient, dans le cas où elles seraient légèrement forcées au haut de leur course; tandis que, si elles sont gênées en bas et maintenues de force par les boîtes à étoupes, il faut que les bras du chariot se brisent.

Quand cet accident arrive, une des parties de ces bras, devenue libre par une extrémité, vient frapper le plateau du cylindre, assez violemment pour occasionner quelquefois la fracture du balancier. Il est donc prudent d'attacher ces bras au balancier, au moyen de petites chaînes, pour retenir, au besoin, leurs extrémités si elles se brisaient.

Bielle et manivelle.

815. *Des grains de la bielle.* — L'effort considérable et continu que supportent les grains de la bielle, dans le changement de direction du mouvement de la machine, les expose à être fréquemment usés, si l'on oublie de les graisser régulièrement, et de déboucher les lumières, qui se remplissent promptement de

cambouis. Il est donc indispensable d'en avoir toujours un de rechange en magasin. On s'aperçoit facilement du jeu que prennent les tourillons de la boule du balancier dans les grains de cuivre de la tête de la bielle, lorsque la machine donne un choc au passage supérieur de la manivelle, quoique ce choc puisse encore avoir pour cause un jeu dans les boules du balancier, ou dans les bras du parallélogramme. Si les grains de la tête de la bielle ne sont ni usés ni attaqués, il suffit de resserrer les clavettes; mais s'ils le sont, ce que l'on reconnaît à la poussière de cuivre limé qui en tombe, et encore mieux à la forte chaleur qui se dégage, il faut arrêter la machine, enlever les grains de cuivre, les refroidir, ainsi que la bielle, avec de l'eau fraîche, les nettoyer et les graisser comme les tourillons; et si le cuivre est assez usé pour que la clavette ne puisse plus serrer, on doit mettre sous le grain une épaisseur en cuivre, ou le changer.

816. *Grains qui tournent.* — On voit aussi les grains supérieurs de la tête de la bielle se déranger de leur place, parce qu'ils sont ronds, et que, rien ne les retenant, ils glissent de côté; de sorte que, la lumière des grains ne correspondant plus à celle de la frette, l'huile n'y pénètre pas, le grain se lime et s'échauffe. Pour prévenir tout accident de ce genre, il suffit de fixer le grain de cuivre, en y ajustant une petite clef qui l'empêche de tourner dans sa frette.

817. *Des grains de la manivelle.* — Le grain de la manivelle, dans lequel s'opère la transformation du mouvement de va-et-vient en mouvement circulaire, et qui fatigue par conséquent beaucoup, est encore plus exposé à se limer et à s'échauffer que ceux de la bielle. Aussi doit-on le graisser avec soin toutes les douze heures, avec de bon suif, et mieux avec de la graisse animale, mêlée de plombagine, ou de talc passé au tamis de soie. Lorsqu'il s'échauffe, il faut, comme nous avons déjà dit, nettoyer le grain et le prisonnier, les arroser d'eau froide et les graisser. Mais, comme le cuivre frotte ici sur du fer, il s'y attache en s'échauffant et le pénètre de telle sorte qu'on ne peut l'enlever qu'avec la lime, ou mieux en remettant le pri-

sonnier sur le tour. Cette opération est absolument nécessaire ; car, lorsque le fer du prisonnier est combiné avec le cuivre, par le frottement et la chaleur, il s'échauffe ensuite avec la plus grande facilité, et renouvelle toujours le même accident ; on l'évitera en enlevant tout le cuivre, et en mettant le fer à nu.

Quand les grains de cuivre de la manivelle s'usent, et que la clavette ne suffit plus pour les serrer sur le prisonnier, celui-ci, en jouant dans les grains, donne un choc à chaque passage inférieur de la manivelle : il en est de même quand la clavette n'étant pas assez ouverte, vient à se desserrer. Dans ce dernier cas, un coup de maillet donné en marchant suffit pour arrêter le choc. Mais si les grains sont usés et ne peuvent plus se serrer, soit parce qu'ils se touchent entre eux, soit parce qu'ils sont trop minces, et que la clavette tout à fait à fond ne les presse plus, il faut buriner et limer le haut des grains pour leur permettre de se rapprocher, et mettre une épaisseur en cuivre ou en fer entre le grain et la clavette, ou, mieux encore, recharger, comme nous le dirons plus loin, le grain ou la contre-clavette : les épaisseurs peuvent se déranger.

De la distribution de vapeur aux machines.

818. *Boîtes dressées et rodées.* — La meilleure disposition de boîtes, pour éviter les difficultés qu'entraînent les masticages de fonte, est d'ajuster les deux surfaces à la machine à raboter, de les roder l'une sur l'autre, et de les enduire d'une légère couche de mastic rouge. Les fuites sont beaucoup moins à craindre.

819. *Du passage de la vapeur à travers le masticage de la boîte du petit cylindre.* — Quelquefois une communication directe s'établit entre le conduit d'apport et l'un des conduits du petit cylindre, de sorte que la vapeur passe directement de la chemise dans le cylindre, sans traverser la boîte, et que, par conséquent, elle agit toujours du même côté du piston, alternativement en l'aidant et en s'opposant à sa course. On peut découvrir ce défaut en fermant le robinet régulateur, ouvrant ce-

lui du plateau du petit cylindre, et mettant le piston en haut, puis en bas de sa course. Il est facile de voir si, dans une de ces deux positions, il y a dégagement de vapeur dans le cylindre, quoique le robinet régulateur soit fermé; si cependant ce robinet régulateur était déjà mangé par la vapeur, et ne fermait pas bien le conduit d'apport, il laisserait aussi passer la vapeur dans les cylindres, ce qui pourrait induire en erreur. Au reste, on reconnaîtra beaucoup plus sûrement cette communication en démontant le petit piston. Le robinet régulateur étant bien rodé, si le masticage est bon, il ne doit pas passer de vapeur dans le petit cylindre; si, au contraire, le masticage a été mangé par la vapeur, elle sort par l'un des conduits, et quelquefois par les deux.

On reconnaît aussi ce passage de vapeur, en enlevant le plateau de la boîte du petit cylindre. On voit alors la vapeur sortir par une des ouvertures. Enfin, un autre signe auquel on reconnaît ce défaut, est *l'échauffement de l'un des tuyaux de communication* des boîtes, quoique le robinet d'introduction soit fermé : conséquence nécessaire du passage de la vapeur. Au reste, des phénomènes semblables se présentent s'il existe dans les boîtes un défaut de fonte, par lequel la vapeur s'introduit avant son arrivée au robinet.

820. *Du passage de la vapeur à travers le masticage de la boîte du grand cylindre.* — Il n'y a pas de moyen direct de reconnaître ce défaut dans la boîte du grand cylindre : cependant il serait bien plus dangereux pour la machine que dans le petit; la vapeur passe alors directement au condenseur, tandis que celle qui se perd dans le petit cylindre vient encore travailler dans le grand; mais cet accident est plus rare, parce qu'il n'existe que deux passages dans le corps de cette boîte. Le seul signe caractéristique de cette maladie est une plus grande consommation de vapeur, et un échauffement proportionnel du condenseur, sans qu'on en découvre la cause, soit dans le mauvais état de la machine, soit dans le règlement défectueux des soupapes, soit dans le mauvais état des pistons. Ainsi, quand, après avoir vérifié

suffisamment toutes les pièces d'une machine, on la voit encore consommer une quantité extraordinaire de combustible, il ne faut pas hésiter à recommencer avec beaucoup de soin le masticage de la boîte du grand cylindre; il est même toujours facile de découvrir les traces que la vapeur a laissées sur son passage, en enlevant l'ancien mastic. Si, dans cette incertitude, on négligeait ce raccommodage, qui n'est ni long ni coûteux, on s'exposerait à perdre la plus grande partie de la force de la machine. Plusieurs exemples l'ont prouvé. On corrige de même les fuites de la boîte du petit cylindre, en refaisant le masticage à neuf.

821. En tous les cas, le manufacturier qui surveille sa machine, et qui sait à quelle pression elle doit enlever sa charge quand elle est en bon état, et le chauffeur intelligent qui la conduit, doivent s'en apercevoir immédiatement à l'excès de consommation de la houille, à la fatigue que la machine éprouve, à la tension supérieure à laquelle elle est obligée de travailler, avec une ouverture donnée de robinet, et à l'élévation de température du condenseur; un coup d'œil exercé suffit pour voir si une machine marche légèrement et sans efforts, même à pleine charge, à moins que cette charge ne soit excessive.

822. *De l'entretien du robinet régulateur.* — L'action de la vapeur sur le robinet régulateur est assez vive, et quoique fabriqué ordinairement en acier fondu, elle l'attaque et le rongé. Il faut de temps en temps le limer à la lime douce et en long, ce qui vaut mieux que de l'user à l'émeri, puis le roder à sec, pour voir les endroits où il porte; le limer, l'essuyer et le roder de nouveau, jusqu'à ce qu'il porte partout; on le rode alors définitivement à l'eau, et si l'opération a été bien faite, on peut être assuré qu'il ne perdra plus.

Le levier de ce robinet est quelquefois fixé sur un petit tourillon, par une goupille qui, quoique en acier, est promptement coupée; et comme le levier ne fait plus marcher le robinet, on est exposé à ne pouvoir plus le fermer, lorsque l'on veut arrêter

tout à coup la machine, ce qui peut être très-dangereux. Un chauffeur, surpris par cet accident, doit ouvrir les robinets des plateaux pour laisser l'air entrer dans les cylindres et le condenseur; la machine s'arrête immédiatement. Le levier du robinet doit être ajusté sur un carré et fixé par un écrou, que l'on dévisse et que l'on graisse de temps en temps, pour éviter qu'il ne se rouille et ne devienne trop difficile à enlever.

823. On démonte aussi tous les quinze jours l'écrou qui serre le robinet, et on le graisse avec soin; autrement on serait exposé à ne pouvoir plus le détacher, parce que la vapeur qui s'échappe toujours en petite quantité par ce robinet, rouille très-vite le fer des vis et de l'écrou. Si, après être resté longtemps en place, il était impossible de détacher cet écrou avec des clefs, il faudrait le frotter quelques jours avec de l'huile bouillante pour l'en pénétrer, et le chauffer fortement avec des pinces de fer rougies au feu, sans chauffer l'extrémité du robinet; l'écrou se dilatant le premier, se détacherait alors de son pas de vis, et s'enlèverait avec la plus grande facilité. Si l'on employait du feu au lieu de pinces rougies, on échaufferait en même temps le robinet et l'écrou, et l'on ne réussirait peut-être pas à détacher le dernier. Il est bon de donner à la tête des robinets régulateurs une forme carrée, au lieu de la tourner en poire, afin de pouvoir les tenir invariablement par cette extrémité, quand on veut desserrer les écrous.

824. Nos observations ne sont pas directement applicables à toutes les machines à vapeur, parce que leur construction varie suivant leur système, et que le mécanicien opère aussi de nombreux changements de détail dans les machines d'un même système. Mais, comme dans un traité d'hygiène, nous réunissons ensemble, autant que notre expérience ou notre mémoire nous le permettent, toutes les circonstances les plus défavorables et les accidents les plus fâcheux, pour que chacun y trouve les faits qui le regardent et les utilise.

825. *Tuyaux des boîtes et tuyau du grand cylindre au condenseur.* — Le masticage des tuyaux des boîtes est assez diffi-

cile à cause de leur position. Les vis doivent être graissées et serrées avec précaution. On les dévisse avec les mêmes soins; si elles sont rouillées dans la fonte, elles cassent souvent, et il en reste la moitié engagée dans le taraudage. Il faut alors forer un trou plus large, le tarauder et y mettre une nouvelle vis plus forte que la première; nous conseillons aux constructeurs de faire ces vis en acier non trempé. C'est souvent par le masticage de ces tuyaux que l'air pénètre dans les boîtes; aussi ne saurait-on serrer trop fortement l'étaupe pénétrée de mastic rouge, dont on remplit leurs boîtes, et en mastiquer trop soigneusement les plateaux.

Il est très-important que les tuyaux de communication des boîtes soient ajustés de manière à permettre la dilatation produite par l'action de la chaleur. Lorsque le condenseur donne de l'air, il est facile de découvrir l'endroit par lequel cet air entre, en promenant la flamme d'une bougie à tous les masticages et boîtes à étoupes, sous lesquels existe le vide, ou une faible tension, et particulièrement les tuyaux dont nous parlons, et celui qui conduit la vapeur du grand cylindre au condenseur.

Ce tuyau, quelque bien mastiqué qu'il soit, donne souvent de l'air par les joints, parce que le vide y existe toujours.

826. *De l'entretien de l'excentrique.* — Les soins à donner à l'excentrique et à son engrenage rentrent dans les soins journaliers d'une machine : un graissage régulier et un fréquent nettoyage. Celui-ci est surtout nécessaire à l'excentrique, que l'on place trop souvent sous le plancher, où la graisse et la poussière s'amassent rapidement; sans ces précautions, l'excentrique s'use promptement, ce qui diminue la course des soupapes et dérange la marche de la machine. Lorsque, soit par négligence, soit par un long travail, l'excentrique est ainsi diminué de 3 ou 4 millimètres, il faut le remplacer, en ayant soin d'employer, à cet objet, l'acier fondu de la meilleure qualité, et de le tremper très-dur.

Les platines d'acier qui sont fixées sur le chariot de l'excentrique doivent aussi être renouvelées avec les mêmes précautions quand elles commencent à s'user.

827. *De l'avance des tiroirs.* — Il faut donner à l'excentrique une position telle, qu'il puisse ouvrir les soupapes quelques instants avant que le piston commence sa course. On sait que si les soupapes ne marchaient qu'à l'instant même où la course est terminée, il y aurait un moment d'hésitation dans la machine, parce que, quelque vitesse qu'ait la vapeur, il faut toujours un temps appréciable pour que les tiroirs s'ouvrent et lui livrent passage. Si, au contraire, ils ne se soulevaient que quelques instants après que la course serait terminée, si, en un mot, elles étaient en retard, il y aurait un retard dans la machine, et même un choc, parce que la vitesse acquise du volant ferait, par exemple, redescendre le piston pendant que la vapeur agirait encore par-dessous. Au moyen de cette avance, au contraire, la vapeur arrive aussi derrière le piston au moment où il achève sa course, et y faisant ressort par le refoulement qu'elle éprouve, elle le renvoie et facilite beaucoup le retour en sens contraire. Il est donc utile de mettre les tiroirs en avance d'une petite quantité.

Lorsque la machine tourne en dedans, c'est-à-dire lorsque la manivelle remonte du côté des cylindres, dans le sens indiqué par la flèche, marche la plus généralement adoptée, quoique nous n'ayons trouvé aucun inconvénient au mouvement contraire, quand la nécessité l'exige, et que la manivelle passe aussi facilement dans un sens que dans l'autre; lorsque, disons-nous, la manivelle remonte en dedans, on la place horizontalement, c'est-à-dire à moitié de sa course en remontant, puis dégageant l'arbre de l'excentrique, de l'engrenage, qui est fixé sur l'arbre, du volant, on ajuste l'excentrique de manière qu'il soit exactement au bas de sa course, et que son centre de rotation et sa pointe par conséquent soient en haut. Dans cette position, il est prêt à faire marcher les soupapes, au moment même où les pistons commencent à changer de mouvement. Il ne doit commencer à mouvoir son chariot qu'au point où les pistons changent de mouvement, c'est-à-dire recommencent à monter. Nous avons dit que l'excentrique doit être en avance, afin que les sou-

papes puissent s'ouvrir un instant avant le changement de course des pistons : cette avance, si les engrenages qui les commandent ont 30 ou 32 dents, doit être au minimum de trois ou quatre dents.

828. La position de la manivelle et de l'excentrique étant ainsi déterminée, on marque avec de la craie, sur les deux engrenages, deux dents qui se correspondent, puis on enlève l'arbre de l'excentrique, et on le fait de nouveau engrener, en le faisant marcher seul en avant, dans le sens de son mouvement, de manière que la dent marquée sur l'engrenage de l'excentrique, se trouve engrener avec la deuxième ou troisième dent, à partir de celle qui correspondait et qui est marquée sur l'engrenage de l'arbre du volant.

Il est d'autant plus important de mettre ainsi l'excentrique en avance de quelques dents sur la manivelle, que l'on rend celle-ci horizontale pour régler l'excentrique au milieu de la course des pistons, et que cependant la manivelle, dans cette position, n'est pas réellement au milieu de sa course. En effet, à cause de l'obliquité de la bielle, quand le balancier est au milieu de sa course, la position de la manivelle qui y correspond, se trouve être au-dessus de la ligne horizontale; de sorte que les espaces parcourus par la manivelle, pendant chacune des deux moitiés de la course du balancier et du piston, ne sont pas égaux. La manivelle a donc moins de vitesse pendant sa course supérieure que pendant sa course inférieure, si la durée de ces deux courses est parfaitement égale; mais cette différence est sensiblement corrigée par le volant.

L'excentrique doit donc se trouver en avance de plusieurs dents sur la manivelle, c'est-à-dire que, quand la manivelle est à moitié de sa course, l'excentrique aura déjà dépassé cette moitié de 4 dents sur 30 ou 32, c'est-à-dire d'un huitième environ.

829. *Théorie de l'avance du tiroir.* — L'avance du tiroir, qui exerce une influence très-grande sur le rendement utile d'une machine, a pour objet de diminuer l'effet de la com-

pression, qui, si on ne donnait pas d'avance, aurait lieu pendant le temps qui s'écoule entre l'ouverture de la lumière d'échappement et le moment où l'équilibre s'établit entre la vapeur qui a travaillé et le condenseur, et, par conséquent, de réduire l'arrière-résistance du piston qui descend. Elle rend même plus facile l'arrivée de la vapeur active au premier moment de son entrée. Par suite de cette avance la lumière d'admission s'ouvrant un peu plus tôt, le piston marche un moment à contre-vapeur, si on n'a pas soin de donner au tiroir un peu plus de recouvrement extérieur.

L'effet de ce recouvrement est en même temps de fermer un peu plus tôt les lumières, et, par conséquent, de donner lieu à une détente, qui s'ajoute à celle que donne déjà la machine, etc., d'où résulte une légère diminution de puissance, mais avec une diminution bien plus importante de consommation de vapeur. M. Clapeyron, dans les locomotives, a augmenté beaucoup le recouvrement, et s'en est servi pour augmenter les détentes, qu'il a portées très-loin, avec un grand avantage. Nous reviendrons sur cette importante question en parlant des locomotives.

L'avance du tiroir est une des conditions les plus importantes de la bonne marche d'une machine. Elle doit varier entre $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{8}$ de la course totale de la manivelle.

830. *Nécessité d'un règlement parfait pour une distribution de vapeur.* — Nous ne saurions recommander trop fortement les soins à donner au règlement des tiroirs. Une avance trop grande ou un retard dans l'excentrique, suffisent pour causer une erreur dans le règlement d'une distribution de vapeur, et amener les plus graves dérangements dans la marche de la machine, de grandes pertes de vapeur, et des chocs violents, ou au moins des secousses qui, bien que légères, en se renouvelant à chaque course des pistons, la fatiguent promptement et la détériorent. Aussi, quand un chauffeur entend sa machine donner des secousses dont il ne trouve pas immédiatement la cause, soit dans des clavettes desserrées, soit dans le parallélogramme, soit à la tête de la bielle, soit au prisonnier de la manivelle, il

doit la chercher, presque toujours, dans un mauvais règlement des tiroirs, et en vérifier de suite l'exactitude.

Régulateurs à tiroirs.

831. *Régulateur des machines à deux cylindres.*— Ce régulateur est très-simple et peu susceptible de dérangements. Nous donnons ici la distribution de MM. Windsor et C^{ie}. Il consiste, pour chacune des boîtes des deux cylindres, en un tiroir à coquille, en cuivre (*pl. 4, fig. 5*), qui glisse sur une surface de fonte bien dressée, et ouvre ou ferme les trous de vapeur. Un excentrique, fixé sur l'arbre de la manivelle, et marchant dans un chariot, conduit ce tiroir au moyen d'un mouvement d'équerre, et des deux tringles des soupapes.

832. *De son règlement.* — Rien de plus facile que la méthode à suivre pour régler ces soupapes. L'excentrique sort des ateliers fixé et ajusté sur l'arbre de la manivelle, de manière que, quand la machine est sur son centre, la manivelle étant en bas, l'excentrique se trouve au milieu de sa course, et son axe de rotation en bas. Celui que nous avons donné est ajusté pour une machine qui tourne en dedans, comme cela a lieu le plus fréquemment, c'est-à-dire que la manivelle monte du côté où les boîtes à vapeur sont placées par rapport à elle. Dans cette position, on règle les tringles du mouvement d'équerre, de manière que le bras de ce mouvement soit horizontal, et par conséquent au milieu de sa course.

En enlevant de dessus les tiroirs les deux coquilles extérieures, on amène, au moyen des écrous, les tiroirs des deux boîtes à couvrir exactement les six trous à vapeur de ces boîtes. On voit dans les *fig. 6, pl. 4*, les tiroirs de la grande et de la petite boîte réglés dans la position indiquée ci-dessus. On observera que ces tiroirs seront dans la même position quand la machine sera revenue sur son autre centre, la manivelle en haut; mais alors l'excentrique se trouvera le centre de rotation en haut et toujours

au milieu de sa course. Il serait donc aussi facile de les régler dans cette position que dans celle dont nous venons de parler.

Ces tiroirs sont exposés à basculer, quand leur point de suspension est en haut, et surtout quand par le frottement ils commencent à s'user, et à laisser échapper de la vapeur en s'écartant du corps de la boîte. L'application d'un ressort derrière le tiroir prévient ces accidents. On n'oubliera pas non plus de donner à ces tiroirs un sixième d'avance. On mastique ensuite les coquilles par-dessus les tiroirs, et la machine se trouve réglée.

833. *Leurs qualités et leurs défauts.* — La raison qui fait adopter aujourd'hui ces boîtes fort simples, dans toutes les machines à moyenne et à haute pression, est qu'elles ont l'avantage d'ouvrir rapidement de larges passages à la vapeur; leur défaut est de donner des frottements considérables avec la vapeur et à plusieurs atmosphères. En somme, ce sont de très-bonnes boîtes. Nous insisterons toujours sur l'importance qu'il y a à donner une grande section aux passages de vapeur et beaucoup de largeur, afin de réduire leur hauteur et de diminuer la course des tiroirs.

834. *Régulateurs des machines horizontales à condensation et à détente de M. Farcot* (1). — L'organe principal de la distribution de ces machines est un tiroir *a* (*pl. 10, fig. 4*), sur lequel se placent deux glissières, *b* et *c*, percées de plusieurs ouvertures, qui peuvent correspondre avec d'autres ouvertures pratiquées sur le dos du tiroir, et qui communiquent avec des cabinets *cc'*. Quand les ouvertures des glissières sont mises en regard avec les ouvertures du tiroir, la vapeur entre dans les cabinets et arrive alors dans les cheminées *dd'*, qui la conduisent dessus et dessous le piston, lorsque ces cheminées sont découvertes par le mouvement alternatif du tiroir. Les glissières sont entraînées avec le tiroir tant qu'elles ne sont pas arrêtées, soit par les gou-

(1) *Annales des Mines*, tom. VII, 1845. Notice sur la distribution de M. Farcot.

jons *ff'* qui touchent les extrémités de la boîte à vapeur, soit par les talons *ii'* lorsqu'ils rencontrent la touche *g*.

La longueur des goujons est calculée de manière à replacer les ouvertures des glissières en face de celles du tiroir, chaque fois que, dans son mouvement alternatif, le tiroir arrive à la fin de sa course. La touche est une double came qui, suivant sa position angulaire, touche, plus tôt ou plus tard, les talons *ii'*, et par conséquent intercepte plus tôt ou plus tard la communication des cabinets avec la boîte et avec le cylindre à vapeur. C'est donc en variant la position de la double came, que l'on varie la durée de la détente et pour que les longueurs d'introduction soient égales des deux côtés du piston, malgré l'obliquité des bielles, les courbures des deux moitiés de la course ne sont pas pareilles : chacune d'elles a son tracé différent.

Quand le piston à vapeur est prêt à commencer sa course, le tiroir est arrivé à moitié de la sienne, et ne peut plus continuer à porter l'un des talons de l'une des glissières, vers la double came, que pendant la seconde moitié de sa course qui correspond à la première moitié de celle du piston.

Si donc les ouvertures des cabinets ne sont pas fermées aux 0,500 de la course du piston, la vapeur entre pendant tout le temps et la machine marche *sans détente* avec le tiroir (*fig. 5*). On ne peut donc détendre que pendant la première moitié de la course, ce qui est très-suffisant pour la plupart des machines, quand on veut travailler avec économie de combustible.

Quand on veut pouvoir détendre pendant toute la course du piston, il faut que les talons et le tiroir qui les porte marchent vers la double came, pendant toute la course. Le tiroir commence alors sa course en même temps que le piston, au moyen d'un excentrique placé à 90 degrés de celui qui commande le premier tiroir.

Les tiroirs à deux glissières ont des qualités que ceux à une seule glissière ne peuvent jamais avoir. Ils laissent passer facilement la vapeur, qui peut alors arriver sur le piston à une pression voisine de celle du générateur. Ils interceptent rapide-

ment le passage au moment où l'on veut commencer la détente. Ils permettent de varier la détente à la main ou par le modérateur, pendant la marche de la machine; si l'on veut compenser la *surface* perdue par la tige du piston, elles permettent de rendre *inégaies* les longueurs d'introduction des deux côtés du piston. Enfin, avec deux tiroirs superposés, on peut introduire la vapeur depuis 0 jusqu'aux $19/20^{\text{e}}$ de la course, et si l'on veut avoir des ouvertures plus rapides que celles que donne l'excentrique circulaire, on les obtient avec des *excentriques à bosse*. Toutefois, l'excentrique circulaire satisfait pleinement à toutes les conditions d'une excellente distribution et de la détente la plus étendue.

Aujourd'hui toutes les machines horizontales et à condensation de M. Farcot, détendent de 1 à 25 et au delà, avec des volants très-puissants et animés de grandes vitesses. Les machines de 50 chevaux ont des volants de 6 mètres de diamètre et marchant à 30 révolutions par minute.

Pour l'avance, M. Farcot la fait varier de $1/100$ à $1/200^{\text{e}}$ de la course du piston, suivant le travail que la machine doit faire.

Pour bien régler ces machines, le point important est de disposer les touches des glissières destinées à ouvrir les orifices du dos du tiroir, en butant contre le fond de la boîte à vapeur, de manière que ces orifices soient entièrement ouverts pour le côté de l'échappement, à la fin de la course du tiroir, afin de laisser libre l'entrée de la vapeur lors du retour du tiroir : pour le côté de l'introduction, il faut, lorsque la came est en travers en butant, pendant la marche du tiroir, que le taquet de la glissière l'ait placée de manière à fermer les orifices de détente avant que ceux du tiroir, sur la glace dressée, aient commencé à s'ouvrir. Il faut enfin avoir soin, lorsque le tiroir a fini sa course, la came ayant maintenu la glissière au repos, que celle-ci ne découvre pas les orifices de la détente. S'il en était ainsi, c'est que la came serait trop longue ou que le taquet toucherait trop tôt.

Ce système de distribution qui est dans le domaine public, le brevet de M. Farcot étant depuis longtemps expiré, a reçu de

nombreuses applications. M. Meyer de Muilhouse, entre autres, l'a adopté pour avoir une détente variable sur les locomotives. Les résultats qu'il a obtenus ainsi sont très-remarquables.

835. *Régulateurs des machines à basse pression dites de Watt et Boulton.* — Quant aux tiroirs des machines à basse pression, leur règlement ne présente aucune difficulté. Il suffit de savoir de quel côté tourne la manivelle, côté déterminé par la position de l'excentrique sur l'arbre de la manivelle; on voit (*pl. 23, fig. 63*), d'après la position de la manivelle *a* et du double tiroir *b c*, que les pistons descendent et que la manivelle monte. Cette machine est donc réglée pour tourner en dehors, c'est-à-dire pour que la manivelle remonte du côté opposé aux boîtes à vapeur. Pour qu'elle tournât en dedans, c'est-à-dire que la manivelle, dans la position où elle est tracée, fût au milieu de sa course descendante, il faudrait que l'excentrique *d*, au lieu d'être placé sur l'arbre, en opposition avec la manivelle, se trouvât du même côté qu'elle; alors la manivelle restant toujours à la même place, le chariot *e* de l'excentrique se trouverait au bout de sa course, et les soupapes au bas de la leur; alors le piston monterait, et la manivelle descendrait, ce qui est le contraire du règlement ici tracé. Quand on a bien compris cette disposition, le règlement est simple. L'excentrique *d*, les longueurs du mouvement d'équerre *g h*, et par conséquent la course des soupapes, sont déterminées d'une manière fixe, en montant la machine dans l'atelier. La longueur seule du tirant *f* peut varier d'une petite quantité, au moyen des écrous *i k*, si cela est nécessaire dans le montage. Il suffit donc, quand ces mouvements sont posés, de mettre la manivelle horizontale en remontant, et même un peu en arrière de sa position horizontale, afin que l'excentrique et les soupapes aient une légère avance : alors on met le tiroir *b c* au haut de la course, de manière à ouvrir d'un côté la communication entre le tuyau d'apport de la vapeur *l*, et le dessus du piston, par le conduit *m*, et de l'autre, entre le dessous du piston et le tuyau du condenseur *n*, par le conduit *o* : la machine se trouve ainsi parfaitement réglée.

836. *De la détente.* — Lorsque l'on introduit de la vapeur à quatre atmosphères dans un cylindre, pendant la course entière du piston, elle conserve, pendant tout ce travail, la même tension, qui est égale à celle du générateur, sauf une différence plus ou moins grande en moins, et qui dépend des dimensions et des dispositions des robinets, tuyaux, valves, et de tous les passages qui sont entre la chaudière et le cylindre. Cette différence, c'est-à-dire la perte de pression, inévitable à tous ces organes, est d'autant moindre, que ces organes sont mieux proportionnés et mieux défendus du refroidissement extérieur.

Si, au contraire, quand le piston est arrivé à moitié du cylindre, on ferme l'entrée à la vapeur du générateur, le piston continue sa course, poussé par la vapeur qui se détend, en occupant un volume plus grand, mais dont la pression est encore supérieure à celle que nous supposons agir de l'autre côté du piston; et, quand celui-ci est au bout de sa course, le volume occupé par la vapeur est *double de son volume primitif*, mais en même temps sa tension est devenue *deux fois moindre*. En termes généraux, la vapeur qui se détend, pour occuper un volume plus grand, diminue par degrés de tension, en raison inverse du volume qu'elle prend successivement, en poussant ainsi le piston devant elle, avec une pression décroissante, mais facile à déterminer. La vapeur développe ainsi *un travail mécanique*, donne *un effet utile*, qui se transmet au volant, et qui est en somme plus grand que la quantité de travail que l'on aurait obtenue avec le même poids de vapeur, s'il ne s'était pas détendu.

837. *Travail de la détente.* — On trouve bien vite, par l'expérience et le calcul, que le travail développé ainsi pendant la seconde moitié de la course, par la vapeur qui se détend et qui diminue de tension, n'est pas aussi grand que le travail produit par cette même vapeur avec sa pression primitive, pendant la première moitié : il est à peu près les trois quarts de ce travail. Mais comme c'est la même quantité de vapeur qui se trouve utilisée une *seconde fois*, il est évident qu'il y a un béné-

ficie considérable à faire détendre la vapeur, et à la faire ainsi travailler deux fois.

Dans les machines à basse ou à haute pression, on applique avec un égal avantage le principe de la détente. On admet la vapeur à la pression du générateur, pendant un quart, un tiers, ou plus, de la course du piston, puis on intercepte son passage, et on la laisse agir sur le piston, en se détendant de trois ou quatre fois son volume, et beaucoup plus encore, comme nous allons le dire. Nous avons donné plus haut (712) les moyens de calculer cette puissance.

838. *Détente dans les machines de Woolf.* — Le système adopté dans les machines à deux cylindres, consiste à employer la vapeur à 4 ou 5 atmosphères au moins, sans détente, dans un petit cylindre, ou dans une partie du petit cylindre, puis à la faire passer dans un cylindre plus grand, où elle agit sur un second piston, en se détendant jusqu'à huit ou dix fois son volume primitif. On a trouvé à la grande détente un avantage considérable sous le rapport de l'économie du combustible. Aujourd'hui, au moyen des dispositions que nous avons données, MM. Windsor et C^{ie}, dans la machine à deux cylindres des eaux de Nantes, détendent de 1 à 20 régulièrement, et pourraient encore pousser la détente plus loin. Dans les machines horizontales de M. Farcot, la détente arrive à près de 1 à 25 ou 1 à 30.

839. *Variations de la détente et détente variable.* — On comprendra sans peine qu'en faisant varier la détente on fait varier la force de la machine; et si on la supprimait complètement, en laissant arriver la vapeur avec toute la pression pour laquelle la machine est construite, pendant la course entière, on donnerait à cette machine le maximum de force dont elle est susceptible. On emploie ce moyen pour changer la puissance d'une machine, dans les ateliers où la quantité de travail varie fréquemment; on fait pour cela varier le réglage du tiroir de détente.

840. *Détentes variables réglées par le modérateur.* — La pensée de faire varier la détente en marchant et en raison des besoins de travail de l'atelier, et de régler ainsi rigoureusement la vitesse

et la puissance de la machine, suivant le travail fait, en liant au modérateur l'appareil destiné à conduire la détente, de manière à diminuer cette détente quand le modérateur se ralentit, et à l'augmenter quand il s'accélère, s'est présentée à l'esprit des mécaniciens les plus habiles. De nombreuses tentatives ont été faites depuis vingt ans sans un succès décidé. L'amplitude de course de la douille du modérateur à boule est très-faible et ne suffisait pas à une détente qui devait varier dans de très-grandes limites; la marche des machines devenait plus irrégulière encore.

On a aussi cherché longtemps la solution du problème dans de petits tiroirs mobiles, libres dans leur mouvement, placés derrière le tiroir de distribution, et conduits par l'excentrique, sauf la pression d'un ressort pour les faire marcher avec le tiroir; tous les systèmes cherchés dans cette route ont échoué, les tiroirs libres n'ayant jamais pu conduire régulièrement une machine. Avec les doubles tiroirs commandés par deux excentriques de J.-F. Saulnier, on a obtenu une parfaite régularité de vitesse, et des détentes variant dans d'assez grandes limites, en changeant le point d'engrènement de deux roues dentées; mais ce n'était pas là une *détente variable* dans de larges limites et manœuvrée en marchant.

MM. la Rivière et E. Bourdon, avec leurs modérateurs, dont nous avons donné les plans et la description (*pl.* 24, 25 et 29, *fig.* 66 à 71), ont obtenu une régularité parfaite de vitesse dans les machines, malgré des changements brusques et presque complets de charge, et leurs appareils simples et économiques tous deux résolvent entièrement la question sous le rapport du réglage de la vitesse. Quant aux appareils destinés à faire varier en marchant la détente de la vapeur, il y en a déjà plusieurs de très-bons. Nous avons donné la description complète de celui de M. Farcot et le tracé de celui de MM. Windsor et C^{ie}, qui ont tous deux donné d'excellents résultats, jusque dans les plus grandes puissances de machines. M. Bourdon en a un aussi sur ses machines horizontales. Enfin, nous en décrivons ici deux qui nous paraissent bons.

841. *Détente à un seul tiroir mobile de M. Hanrart de Marchienne (Belgique), pl. 22, fig. 58 et 59.* — Le tiroir de M. Hanrart est une glissière en bronze, ayant dessous un évidement qui sert, comme à l'ordinaire, à l'échappement de la vapeur. Cette pièce présente, à la différence de tous les tiroirs, un canal intérieur, dont les extrémités correspondent avec la table du cylindre: elle est de plus percée de deux orifices, qui débouchent dans le canal intérieur. La face extérieure de la glissière frotte sur une barrette fixe en fonte, percée au milieu d'une ouverture de même dimension que les précédentes. Cette barrette est fixée dans le sens du mouvement du tiroir; elle correspond par derrière avec la boîte dans laquelle la vapeur arrive pour se distribuer, et avec le tiroir dont la marche alternative ouvre et ferme les ouvertures de la barrette. Celle-ci est de plus comprimée par un ressort à boudin, qui la maintient à sa place sur la glissière, tout en lui permettant de se soulever pour éviter les chocs et les ruptures résultant souvent de la détente par recouvrement. Voici les avantages que présentent ces dispositions :

1° La vapeur arrive dans le cylindre par quatre orifices différents, tandis que, dans le tiroir ordinaire, elle n'arrive que par un seul. Elle arrive donc, dès le commencement, avec une pression bien plus rapprochée de celle de la chaudière, et on peut utiliser des détentes bien supérieures.

2° La pression sur le tiroir est réduite dans un rapport considérable, avantage important surtout dans les grandes machines, où les tiroirs atteignent des dimensions considérables et sont très-durs à manœuvrer avec de la vapeur à 6 atmosphères, comme on l'emploie si souvent aujourd'hui.

3° Le tiroir Hanrart, appliqué aux anciennes machines à lumières étroites, leur donne un surcroît de puissance très-remarquable, et réalise une notable économie de combustible.

4° En combinant l'avance à l'admission, avec l'avance à l'échappement qui résulte de ce système, les machines prennent, sans inconvénient; des vitesses très-grandes, qui, sans cela, auraient été toujours dangereuses.

5° Pour la même ouverture maximum de passage, le tiroir a, dans ce système, une course beaucoup moindre que le tiroir ordinaire, ce qui diminue le travail dépensé en frottements et rend plus facile le changement de marche dans les machines qui doivent tourner dans les deux sens.

Ce tiroir remplacera évidemment avec grand avantage le tiroir ordinaire, surtout dans les machines marchant à grande vitesse et dans celles qui doivent tourner dans les deux sens, comme les locomotives, les machines d'extraction des houillères et celles des bateaux.

842. *Résultats obtenus.*—En Belgique et en France, où M. Hanrart est breveté aussi, il y a déjà un grand nombre de tiroirs de ce système. La compagnie des mines d'Anzin en a à toutes ses machines, et, d'après un rapport de M. A. Cabany, ingénieur de la compagnie, on a constaté partout une économie de combustible qui dépasse 30 p. 100 sur les mêmes machines.

Ce système est aussi appliqué, en Belgique, aux locomotives des chemins de fer de l'État, et le représentant de M. Hanrart en France (1) en a déjà placé plusieurs, entre autres chez M. Zambeaux, à Saint-Denis.

843. *Détente variable de M. Hamm, ingénieur mécanicien à Sarreguemines (Moselle), commandée pour le modérateur à boule.*—Le système de détente variable de M. Hamm (*pl. 21, fig. 56 et 57*) consiste en deux dispositions spéciales.

D'abord un cadre en métal ajouté à un tiroir ordinaire, qui l'entoure, et qui ferme hermétiquement, contre le tiroir, par trois côtés, en laissant sur le quatrième un espace vide de 14 millimètres dans les petites machines.

Le tiroir marche au milieu du cadre dans son mouvement normal, et celui-ci est tenu contre la glissière par un autre cadre superposé et par un ressort réglé de l'extérieur. Le cadre ne reçoit d'ailleurs aucun mouvement que par l'action du tiroir avec lequel il ouvre et ferme des ouvertures de vapeur, pareilles à celles de toutes les machines.

(1) M. A. Dalican, 11, rue d'Enghien, à Paris.

Il y a ensuite un excentrique mobile monté sur l'arbre de la manivelle, et dont l'amplitude de course varie de 34 à 72 millimètres pour une machine de 6 chevaux, au moyen d'un plan incliné, en métal, manœuvré par le modérateur à boule.

Tant que ce modérateur n'atteint pas les extrémités de sa course moyenne, il agit seulement sur une valve à vapeur, et ce n'est qu'au delà qu'il agit sur l'appareil de détente. Les variations de la détente, par ce système, sont lentes et régulières, et elle peut aller depuis la pleine pression jusqu'à une détente de 1 à 10.

Ces dispositions sont neuves et fort ingénieuses.

844. *Détente dans les machines à haute pression sans condensation.* — Nous avons dit que d'habiles constructeurs poussaient la détente jusqu'à vingt ou trente fois le volume primitif dans les machines à condensation, ce que permet le vide presque parfait obtenu dans le condenseur. M. Farcot prend la vapeur à six atmosphères pour arriver à la plus grande détente. Il est évident qu'avec les machines à haute pression sans condensation, on ne peut pas pousser la détente jusqu'à la pression atmosphérique. Il faut que la pression de la vapeur détendue ait encore au moins $1/5^e$ d'atmosphère au-dessus de la pression atmosphérique. En prenant de la vapeur à six atmosphères, on ne peut donc pas détendre au delà d'un peu moins de cinq fois le volume primitif.

Mais il y a une autre observation très-importante : c'est qu'il ne faut pas, dans ce système, avec de la vapeur à très-haute pression, prendre des détentes très-faibles, qui laissent encore une trop forte pression à la vapeur au moment de son échappement. Cette contre-pression agit en effet derrière le piston d'une manière très-nuisible à l'effet utile de la machine. On doit prendre des détentes qui laissent échapper la vapeur seulement de peu de chose au-dessus de la pression atmosphérique, à une demi-atmosphère au plus.

L'avance à l'échappement, dans le règlement des tiroirs, contribue aussi beaucoup à diminuer cette arrière-pression, dans ce système de machines.

L'emploi de très-hautes pressions est ici nécessaire pour que

la proportion de puissance perdue pour soulever le poids de l'atmosphère, à l'échappement, soit le moins grand possible. Avec les machines sans condensation à grande détente, l'emploi de chemises remplies de vapeur, de cylindres à épaisses enveloppes, de volants et de tuyaux bien proportionnés et de tuyaux parfaitement enveloppés contre le refroidissement, à partir des chaudières, sont aussi la condition d'un *travail utile* avantageux.

Les résultats de ces heureuses dispositions sont tels, que M. Farcot fait des machines *sans condensation* qui, au-dessus de vingt chevaux, ne consomment que 2 kilogrammes de houille par cheval à l'heure, comme par exemple une machine qu'il a montée aux ardoisières d'Angers.

845. *Détente de J. F. Saulnier, de la Monnaie.* — Nous donnons, comme exemple, le tracé et le réglage de la détente des machines de M. J. F. Saulnier. Ceux qui les ont employées savent combien la combinaison en est bonne.

M. Saulnier a voulu conserver au tiroir de distribution le mouvement doux et régulier de l'excentrique circulaire; et il a appliqué le même mode de mouvement à la commande du tiroir de détente, qu'il a placé devant celui de distribution, pour intercepter la vapeur au point voulu. (On trouvera, *pl. 20, fig. 52, 53, 54 et 55*, les détails de ces tiroirs.)

Sur l'arbre *a* du volant est un engrenage *b* qui en conduit un second *c* de pareil diamètre. Celui-ci porte une manivelle qui commande le tiroir de distribution *d*. Vient ensuite un troisième engrenage *e*, dont le nombre de dents est moitié de celui qui précède. Celui-ci porte la manivelle qui commande le tiroir de détente *f*, de sorte que cette manivelle fait deux révolutions pendant que celle de la distribution n'en fait qu'une seule; la détente agit donc une fois complètement, pendant chaque demi-course du piston.

Pour que l'on puisse faire varier la détente, et que le tiroir de détente s'ouvre facilement, M. Saulnier lui fait parcourir une longueur plus grande que l'ouverture qu'il ferme; il a donné beaucoup de largeur et peu de hauteur à cette ouverture. On a

tracé (*fig. 54*) les positions successives que prennent simultanément, 1° *la manivelle du tiroir de détente*, 2° *celle du tiroir de distribution*, 3° *les deux tiroirs*, 4° *le piston*. En partageant cette course en huit parties égales, on voit :

Que, pour un huitième de révolution de la manivelle de détente, celle de distribution ne fait que le seizième d'une révolution ;

Que, quand le piston est arrivé au milieu de sa course, la vapeur du générateur est complètement interceptée par le tiroir de détente ;

Qu'enfin la vapeur se détend successivement pendant la seconde moitié de la course, ce qui est indiqué par la dégradation proportionnelle de la teinte dans le cylindre et dans les boîtes.

846. *Règlements des tiroirs de M. J. F. Saulnier.* — Pour régler facilement ces tiroirs, il faut le faire dans la position indiquée au premier temps, les deux manivelles étant horizontales du même côté ; dans cette position, les deux tiroirs doivent être fermés exactement et au milieu de leur course.

847. *Avance à donner.* — Si l'on veut retarder la détente, c'est-à-dire admettre la vapeur à pleine pression plus longtemps, on met les manivelles à la position du premier temps, on marque avec de la craie les deux dents qui se rencontrent à l'horizontale dans les deux engrenages à manivelle : on démonte celui de la détente, et on le fait reculer sur le sens du mouvement ; c'est-à-dire qu'on le remet en place en faisant engrener la dent marquée à l'engrenage de distribution avec une, deux ou trois dents plus en avant sur celui de détente. Dans cette position, la dent marquée à l'engrenage de détente se trouvera plus haut que celle de la distribution ; le tiroir de distribution sera resté fixe ; celui de détente aura baissé : par conséquent, il viendra fermer complètement le passage *plus tard* : par conséquent la détente sera moindre.

On fera le contraire, c'est-à-dire qu'on avancera d'une quantité déterminée l'engrenage de détente, si on veut augmenter celle-ci ; en comptant le nombre de dents de cet engrenage, on

saura dans quelle proportion on l'augmente ou on la diminue.

Quelque disposition de machine à vapeur que l'on rencontre, si l'on a bien compris les appareils et les méthodes que nous venons de donner, on ne trouvera pas de difficultés à en régler la distribution de vapeur.

Dans ces machines, l'action du tiroir seul se borne à ouvrir et à fermer les orifices du cylindre aux moments convenables pour la distribution de la vapeur. Mais les limites dans lesquelles on peut faire varier la détente, avec les dispositions que nous venons de donner, sont, comme on a pu le voir, très-étendues.

Condenseur.

848. *Des cas dans lesquels le condenseur peut puiser directement l'eau dans un puits.* — Il y a deux manières de disposer les condenseurs des machines à vapeur : tantôt ils tirent directement l'eau du puits, au moyen d'un tuyau de cuivre ou de plomb que nous avons tracé, *pl. 1, fig. 1* ; tantôt ils la puisent dans une bêche au milieu de laquelle ils sont plongés, et où une pompe de puits verse constamment un courant d'eau froide. Il ne faut employer la première méthode que pour puiser l'eau à une petite profondeur, sans quoi le condenseur serait exposé à de fréquents accidents ; on doit toujours le placer dans une bêche remplie d'eau, afin qu'il n'aspire pas l'air par les masticages de ses tuyaux. Aussitôt que la profondeur à laquelle il faut aller prendre l'eau dépasse six ou sept mètres depuis le robinet du condenseur jusqu'au niveau où le puits reste constamment, lorsque la machine travaille, le condenseur s'échauffe fréquemment, parce que, quand la température de l'eau s'y élève de quelques degrés de plus qu'à l'ordinaire, ou quand il y arrive de l'air, la vapeur y conserve une tension trop forte, et le vide ne s'y produit plus assez complètement pour aspirer une longue colonne d'eau.

Au delà de six mètres, on devra donc employer une pompe de puits pour alimenter la bêche. Au-dessous de six mètres,

il n'y a pas d'inconvénient à puiser l'eau directement, au moyen d'un tuyau large et soigneusement mastiqué au condenseur.

Les machines à deux cylindres des eaux de Nantes puisent directement l'eau de leurs condenseurs dans la Loire, qui est à un peu moins de 6 mètres au-dessous des condenseurs, et elles fonctionnent parfaitement.

849. *Tension de l'air et de la vapeur dans le condenseur.* — Si, par exemple, la colonne d'eau à élever du niveau du puits jusqu'au condenseur a huit mètres de hauteur, et que la température du condenseur soit de 30° centigrades, la vapeur, à cette température, peut soutenir une colonne d'eau de 4 décimètres, qui, ajoutés aux 8 mètres, font 8^m,40. Or, comme le poids total de l'air qui fait monter l'eau dans les pompes est égal à une colonne d'eau de 10^m,40, il est clair que l'eau montera dans le condenseur, puisqu'il y a 2 mètr. de différence entre les longueurs de la colonne d'eau que l'air peut soutenir et celle qu'il soulève ici, quoiqu'il y ait toujours dans les condenseurs une certaine quantité d'air qui ajoute sa tension à celle de la vapeur, et qui diminue la hauteur à laquelle l'eau peut monter. Supposons la tension de cet air égale au poids d'une colonne d'eau de 0^m,60, on aura, avec les 8^m,40, 9^m,00 pour le poids de la colonne d'eau à soulever.

Si la température du condenseur s'élevait à 50°, la tension de la vapeur à 50° est égale au poids d'une colonne d'eau de 1^m,20 environ; en ajoutant ces 1^m,20 aux 8^m,40 de colonne d'eau à élever, et aux 0^m,60 qui représentent la tension de l'air, sans tenir même compte de l'augmentation que cette tension a subie par l'élévation de la température, on trouve que la hauteur de la colonne d'eau à soulever est égale à 10^m,25. En conséquence le poids de la colonne d'air extérieur égale à 10^m,40, qui doit vaincre, outre le poids d'une colonne d'eau de 10^m,25, tous les frottements de l'eau dans les tuyaux, n'est plus assez fort pour la faire monter. La différence serait bien plus grande encore si l'on calculait ce qui se passe dans un condenseur, quand la

machine prend de l'air, qui y triple et quadruple bientôt la tension de la vapeur.

Dans tous les cas, la partie des tuyaux qui plonge dans le puits doit être garnie, à son extrémité inférieure, d'une buse percée de trous, pour empêcher les cailloux et les ordures d'être entraînés dans le condenseur. Ces trous doivent être assez larges et en assez grande quantité pour laisser passer, sans résistance, l'eau nécessaire. En supprimant la pompe du puits, l'on évite les réparations auxquelles elle est sujette, et l'on diminue les frottements de la machine. Cependant, dans les deux cas, la même quantité d'eau doit toujours être élevée : la différence de charge est donc peu importante.

850. *De l'échauffement du condenseur plongé dans une bache.* — Lorsque le condenseur plonge dans une bache, il ne peut pas s'échauffer, à moins que son robinet ne soit obstrué ou fermé par négligence; que la pompe ne fournisse pas assez d'eau, soit par un dérangement, soit parce que le puits est à sec ou que, à la suite d'un des accidents indiqués en parlant des cylindres, des pistons et des tiroirs, la vapeur passe directement de la chaudière au condenseur, ou qu'enfin une machine en très-mauvais état consomme une si grande quantité de vapeur, que toute l'eau fournie par la pompe du puits ne suffise plus pour la condenser. Dans ce dernier cas, il faut réparer la machine.

Le condenseur s'échauffe encore quand il n'a pas une capacité suffisante par rapport à celle du cylindre. En effet, le condenseur doit toujours avoir, pour le cube de la course de son piston, au minimum un cinquième de la capacité du cylindre quand la machine est à un cylindre; un volume égal à celui de la pompe à air à simple effet, quand il en est séparé, comme dans la machine de M. Farcot; et un sixième du cube du grand cylindre dans les machines de Woolf. Quant au premier cas, pour éviter que le condenseur qui puise l'eau directement dans une bache n'attire les ordures, le mastic, la flasse, etc., et n'obstrue son robinet, il est nécessaire de poser devant ce robinet une buse percée de larges trous et semblable à celle qui est placée

au bout du tuyau d'aspiration du puits. Nous avons vu plusieurs fois le condenseur s'échauffer, parce que des chiffons tombés dans la bêche s'étaient engagés dans le robinet, d'où ils sont fort difficiles à arracher.

Si le puits manque d'eau, il faut le creuser de nouveau ou y amener de l'eau : une machine à condensation qui manque d'eau ne peut jamais bien fonctionner, ni donner un travail régulier.

851. *Échauffement du condenseur qui aspire l'eau du puits.* — Lorsque, au contraire, le condenseur tire directement l'eau du puits, un léger dérangement dans la machine, une légère augmentation dans la consommation de la vapeur, ou l'inadvertance du chauffeur qui ne laisse au robinet qu'une ouverture trop faible, suffisent pour l'échauffer. Cet accident est d'autant plus fréquent, que la machine tire l'eau d'une plus grande profondeur. Il faut arrêter la machine, verser de l'eau froide dans le condenseur, en ayant soin d'en soulever le clapet pour qu'elle y pénètre. Il ne faut pas que cette eau froide tombe sur la chemise du condenseur quand elle est très-chaude, on pourrait la briser. Quand le condenseur est ainsi rempli, on fait sortir toute l'eau chaude, en tournant la machine à bras ; on enlève enfin celle qui resterait dans le haut du condenseur, et on le remplit une seconde fois d'eau froide. Si le condenseur est plongé dans une bêche, il faut aussi la vider et en renouveler l'eau. En un mot, on ne saurait refroidir trop complètement le condenseur avant de remettre la machine en mouvement, afin de ne pas être obligé de recommencer cette opération pénible. Ici, comme partout, le mieux est toujours le plus court et le plus économique.

852. *De l'engorgement du tuyau d'aspiration.* — Le condenseur, ainsi refroidi, est en état de tirer l'eau du puits, à moins que le tuyau d'aspiration ne soit engorgé, ce dont il est facile de s'assurer : lorsque l'aspiration s'opère régulièrement, on entend l'eau monter avec une grande vitesse dans le tuyau ; quand le tuyau est engorgé, ce bruit cesse complètement. On peut, pendant ces opérations, laisser le robinet du condenseur ouvert ; le

tuyau d'aspiration, qui s'est échauffé en même temps que le condenseur, se refroidit plus facilement.

853. *Règlement du robinet d'aspiration.*—Voici donc quelles sont les principales causes auxquelles on doit attribuer l'échauffement des condenseurs: 1° lorsqu'on oublie d'ouvrir le robinet d'aspiration du condenseur en mettant la machine en activité; 2° quand on ne l'ouvre pas assez pendant sa marche; 3° quand ce robinet est engorgé; 4° ou enfin s'il a un passage trop étroit, ce qui en exige le remplacement. En essayant à la main la température de l'eau, qui ne doit jamais monter au-dessus de 40° centigrades, il est facile de régler ce robinet et de l'ouvrir entièrement pendant quelques instants, si l'eau devenait trop chaude: il aspire alors une grande quantité d'eau qui le refroidit complètement.

854. *Influence de la température de l'eau du condenseur sur l'aspiration, quand le puits est profond.* — 5° Le condenseur s'échauffe aussi lorsque l'on tire l'eau d'une assez grande profondeur, et que l'on condense trop chaud; comme nous l'avons dit, la température du condenseur commençant à s'élever au-dessus du degré qu'il doit conserver, le vide ne s'y produit plus aussi bien, et l'eau ne peut plus être aspirée d'une aussi grande hauteur; si la température s'élève encore plus, l'eau contenue dans le condenseur devient bouillante, et la condensation de la vapeur ne peut plus s'opérer.

855. *Usure de la garniture du piston et de la boîte à étoupes.* — 6° Le condenseur peut encore s'échauffer lorsque son piston n'est plus garni de cordes ou de caoutchouc vulcanisé; on le reconnaît facilement quand la machine, au moment de sa mise en marche, fait six ou huit tours sans que l'eau soit aspirée; l'air passant autour du piston, le vide ne peut plus se produire au-dessous, et l'eau ne monte pas.

Le même accident a lieu quand la boîte à étoupes du condenseur est mal garnie: au moment où l'on met la machine en mouvement, si cette boîte n'est pas couverte d'eau, elle laisse rentrer avec un grand sifflement l'air qui s'oppose à l'aspiration de l'air. Dans ces deux cas, quand on met la machine en route

après un long arrêt, il est bon de jeter quelques seaux d'eau froide dans le condenseur, pour couvrir la boîte à étoupes, et rendre l'aspiration facile et prompte.

856. *Le piston peut tomber au fond du condenseur.* — Nous ajoutons une observation qui sera utile : il faut, lorsque l'on met en place le piston du condenseur, après l'avoir démonté, éviter de le laisser échapper et tomber à fond ; il y resterait presque inévitablement accroché au bord inférieur du cylindre, par l'épaisseur des cordes dont il est garni, et il serait à peu près impossible de l'en tirer par en haut ; on serait forcé de démastiquer le fond du condenseur, et de retirer par là le piston. Il faudrait ensuite le mastiquer de nouveau soigneusement, avec du mastic de fonte, pour que l'air ne puisse pas y pénétrer. Si ce fond n'était pas mastiqué, et que toute la pièce fût coulée d'un morceau, comme cela a lieu quelquefois, on est obligé de démastiquer le corps de pompe, qui est ajusté en queue d'aronde dans son enveloppe, et de l'y remettre avec les mêmes précautions. Il est donc utile de placer au fond des condenseurs un trépiéd en fer, capable de soutenir le piston dans son corps de pompe, s'il venait à échapper à la main.

857. *Durée de la garniture du piston.* — Le piston du condenseur, bien garni de corde, peut travailler deux ou trois ans sans être regarni, quand celui-ci plonge dans une bêche pleine d'eau froide ; mais lorsqu'il aspire l'eau du puits, surtout à une assez grande hauteur, il faut le regarnir tous les trois ou quatre mois, ce qui devient évidemment nécessaire, lorsqu'au bout de 7 à 8 tours de la machine l'eau refuse de monter ; au reste, cela varie avec la profondeur à laquelle on puise l'eau ; plus elle est grande, plus le piston du condenseur doit être tenu en bon état.

Quant aux garnitures de caoutchouc, elles ont au moins trois ou quatre ans de durée.

858. *De l'air que donne le condenseur, et des moyens de reconnaître les ouvertures par lesquelles il pénètre dans la machine.* — 7° Il peut encore y avoir échauffement lorsque le tuyau qui puise l'eau dans le puits prend air, ou quand le puits ne fournissant

pas assez d'eau, le tuyau aspire de l'air par sa buse inférieure : on s'en aperçoit facilement, si, toutes les boîtes à étoupes et les masticages de la machine étant en bon état, le condenseur donne beaucoup d'air, ou au moyen de l'indicateur de vide, s'il y en a un d'appliqué au condenseur. L'eau est alors projetée fortement à chaque coup de piston par le bouillonnement de cet air; cet effet n'est pas aussi fort quand l'air vient de la machine, que lorsqu'il vient du condenseur; dans ce dernier cas, l'air arrive encore froid dans le condenseur et s'y dilate d'une quantité considérable; lorsque l'air est aspiré par les cylindres ou par les boîtes, la machine devient en outre très-lourde, ce qui n'a pas lieu à un aussi haut degré s'il vient du tuyau d'aspiration, alors il n'agit pas directement sur les pistons. Il en est de même quand l'air est aspiré par le tuyau qui conduit la vapeur des boîtes au condenseur.

En tout cas, on trouvera toujours l'endroit où l'air pénètre, en promenant une bougie le long des masticages et des tuyaux où l'on soupçonne une fente, jusqu'à ce que la flamme soit fortement aspirée par le courant d'air qui pénètre dans cette ouverture. Si ce moyen ne suffit pas, on peut mettre la manivelle en haut ou en bas, embarrer fortement le volant, pour qu'il ne puisse pas tourner, et introduire de la vapeur dans les cylindres; la vapeur remplit bientôt tous les vides de la machine, et sort par les ouvertures qui donnent passage à l'air. Cette opération doit être faite avec précaution : si le levier qui maintient le volant et supporte tout l'effort de la machine venait à se briser, il pourrait en résulter des accidents très-graves.

859. *Danger de l'air que prennent les machines.* — Les tuyaux les plus exposés à des prises d'air sont ceux qui établissent la communication entre les deux boîtes, et celui qui conduit la vapeur au condenseur, parce qu'il est difficile de les bien mastiquer. Les boîtes à étoupes des cylindres et des tiroirs fournissent également beaucoup d'air : on doit les resserrer et les regarnir fréquemment, et examiner souvent tous les masticages sous ce rapport.

Il est certain que l'air est un véritable poison pour les machines à vapeur, et qu'il faut donner la plus grande attention à la marche du condenseur. Cette question est si importante que souvent des industriels ont diminué d'un quart la consommation de houille nécessaire à leur machine, en arrêtant l'entrée de l'air par les tuyaux et les masticages.

860. *Air fourni par l'eau des puits.*— La quantité d'air fournie par l'eau des puits, à mesure qu'elle s'échauffe, ce qu'on ne peut éviter, ne s'élève pas à $1/10^e$ de litre par chaque coup de piston, et cet air est à peine appréciable quand la pompe du condenseur n'en aspire pas d'autre.

861. *Indicateur de vide. Mesure du vide dans le condenseur.* — On le mesure au moyen d'un baromètre muni d'un robinet, afin que dans les premiers moments de marche de la machine que l'on purge d'air, les variations de pression étant très-considérables, les oscillations du mercure ne l'emportent pas au dehors. Avec un semblable baromètre, on trouve que, dans une machine bien entretenue, on réduit et on maintient dans le condenseur la colonne de mercure à $0^m,025$ ou à $0^m,030$ de hauteur, c'est-à-dire à $1/25^e$ d'atmosphère moyennement, quand la vapeur travaille à 4 ou 5 atmosphères. Il faut, pour première condition, que le condenseur soit bien proportionné, et que le tuyau qui y conduit la vapeur soit d'un large diamètre, afin que la vitesse de la vapeur ne soit pas réduite.

L'emploi de cet instrument, sur un condenseur, est un sûr moyen de vérification de la bonne marche d'une machine que l'on a à essayer : il indique à chaque coup de piston la manière dont la vapeur fonctionne et se condense. On l'applique même à demeure à toutes les bonnes machines à condensation, et il sert ainsi d'un excellent guide au mécanicien et au chauffeur.

862. *Clapet qui ne retombe pas.* — Quelquefois une machine s'arrête tout à coup, parce que le clapet du condenseur ne tombe pas après s'être levé, et qu'il est retenu en l'air par la graisse amassée dans son collet et autour du plateau : alors l'eau et même l'air rentrent dans le condenseur à chaque coup de piston,

et la machine s'arrête. Il faut faire retomber le clapet chaque fois qu'il se soulève, à l'aide d'un bâton, et en suivre quelques instants la marche, jusqu'à ce que la graisse soit complètement enlevée par le frottement du clapet : on facilite ce nettoyage en ouvrant le plus possible le robinet du condenseur, pour fournir beaucoup d'eau et condenser à froid, ou en arrêtant un moment la machine, et essuyant la graisse déposée autour du collet. Cet accident peut arriver 10 ou 12 fois dans une journée, quand le clapet est une fois gras.

863. *Défauts des condenseurs horizontaux.*—Les dérangements des clapets sont très-fréquents avec les condenseurs horizontaux employés quelquefois dans les machines horizontales; mais ces condenseurs doivent être proscrits, même dans ce cas-là; et comme on le voit dans les plans de la machine horizontale de M. Farcot, le condenseur est vertical, la pompe à air, qui en est séparée, est seule horizontale.

864. *De la quantité d'eau nécessaire à la condensation.* — On demandera maintenant quelle est la quantité d'eau nécessaire à une machine d'une force déterminée. Nous avons donné, tome I^{er}, note 6 de l'appendice, les éléments nécessaires pour calculer le volume d'eau que réclame une machine à condensation.

La pratique exige, dans une machine de Woolf en bon état, 10 kilog. ou 10 litres d'eau en une minute, par cheval, ou 600 litres à l'heure, ce qui répond à peu près à une consommation de 15 kilog. de vapeur ou de 3 kilogr. de houille par heure. Pour une machine de 10 chevaux, il faut donc 100 k. ou un hectolitre d'eau par minute. Cette quantité d'eau est un peu forte, mais il vaut mieux en avoir trop que d'en manquer; on peut alors condenser à une plus basse température, procédé toujours plus avantageux, quoiqu'il exige l'élévation d'une plus grande quantité d'eau. Au reste, on ne doit jamais condenser à une température plus élevée que 40° ou 45° au maximum, à moins qu'il ne soit absolument impossible de se procurer de l'eau en quantité suffisante.

Dans les machines à basse pression, il faut compter sur une

consommation de 17 ou 18 kilog. d'eau par minute, répendant à 5 kil. de houille par heure et par cheval.

865. *Injection de vapeur dans le condenseur.* — Le condenseur doit être en communication avec la vapeur de la chaudière ou de la chemise par un tuyau muni d'un robinet, afin que l'on puisse, au moment de la mise en marche, chasser l'air qui s'y est accumulé pendant un arrêt de la machine. Cette disposition est surtout importante sur les steamers.

Pour chasser l'air amassé dans le condenseur, on ouvre le robinet à vapeur et on laisse celle-ci laver d'air le condenseur, jusqu'à ce que cette vapeur sorte par le robinet de purge, qu'on a ouvert, sous sa forme bien connue de nuage blanc, signe certain de l'expulsion complète de tout l'air. On condense la petite quantité de vapeur restée, en introduisant un peu d'eau par le robinet d'injection d'eau.

866. *Des dépôts qui engorgent le condenseur.* — Un inconvénient auquel sont exposées les machines en service depuis plusieurs années, et qui s'alimentent avec de l'eau déposant beaucoup, ou celles dans lesquelles on prodigue outre mesure le suif destiné à graisser les pistons, est l'encombrement total du vide existant entre le corps de pompe du condenseur et son enveloppe. La vapeur et l'eau n'entrent plus qu'avec lenteur, la condensation se fait mal, la machine perd toute sa force, et peut à peine se traîner. On reconnaît ce défaut en descendant une chandelle au fond de la pompe à air, et en regardant par les trous des vis, qui fixent le plateau à la pompe à air, après les avoir enlevées.

On peut quelquefois faire tomber ces galettes, en grande partie composées de suif altéré par la vapeur, et attachés aux parois du condenseur, à l'aide d'un ciseau, soudé au bout d'une tringle de fer, que l'on fait passer par les trous de vis du plateau, et avec lequel on détache les dépôts. On enlève ensuite les ordures tombées au fond du condenseur. Si on ne réussit pas par ce moyen à nettoyer le condenseur, il faut en démastiquer le trou d'homme ou le fond, et le remonter avec soin. Si, enfin, le

fond ou les tuyaux du condenseur étaient engorgés de graisse, et qu'il fût difficile de les démonter, on les nettoierait aussi sans peine avec une forte lessive de soude à 80° : on y laisserait séjourner la lessive jetée bouillante, puis on laverait.

867. *Appareil de condensation de S. Hall.* — Les dangers que présente trop souvent l'alimentation des générateurs avec des eaux surchargées de substances terreuses, et surtout avec l'eau de mer à bord des steamers, ont fait désirer un procédé qui permit de condenser la vapeur sans la mêler à la quantité vingt fois plus grande d'eau nécessaire à la condensation.

Parmi les systèmes proposés, celui de S. Hall paraît être le meilleur. Il condense la vapeur dans un appareil composé de six tuyaux de 12 millimètres de diamètre et de 1 mètre de longueur, autour desquels une pompe fait circuler un courant d'eau froide.

L'eau distillée qui se condense est renvoyée à la chaudière qu'elle ne peut pas salir, et le vide se fait, dit-on, beaucoup mieux dans le condenseur, l'eau envoyée à la chaudière ne contenant pas d'air. Quoique le mode de construction de cet appareil soit difficile et sujet à des dérangements, il a déjà été appliqué à plusieurs machines avec succès, surtout à bord des steamers de grande navigation (192).

868. *Appareil d'Alexis Sauvage pour l'alimentation des machines à vapeur avec la vapeur condensée.* — Nous avons montré (vol. I, pag. 133) les graves dangers résultant des incrustations pour les chaudières à vapeur alimentées avec des eaux chargées de dépôts terreux, surtout avec des eaux de mer.

Dans toutes les machines qui condensent, la condensation se fait par l'injection de la vapeur dans un grand volume d'eau puisée au dehors.

Alexis Sauvage a cherché un système de condenseur à tubes, qui fût réellement pratique, et qui permit de condenser la vapeur d'une machine sans la mélanger à de l'eau, et presque sans perte d'eau condensée, afin qu'on pût alimenter alors avec de l'eau pure.

Le condenseur de Hall, dont nous venons de parler, n'a pas

été adopté dans l'industrie. Celui de M. Simonot est sans doute trop cher.

L'appareil de A. Sauvage, que l'on dit avoir évité les défauts des systèmes essayés jusque-là, et remplir complètement le but posé : *condenser la vapeur qui a travaillé dans une machine, sans mélange d'eau, et l'introduire d'une manière continue dans la chaudière* ; cet appareil consiste, pour les machines fixes, en une série de tubes droits et parallèles, et enveloppés de manchons où l'eau froide circule à l'extérieur, pour déterminer la liquéfaction de la vapeur.

Sur les steamers, la condensation s'opère d'une manière plus simple encore. On pratique dans la coque du navire, de chaque côté de la quille, au-dessous de la ligne de flottaison, quatre ouvertures, moitié à l'avant, moitié à l'arrière, et réunies deux à deux par de gros tubes en cuivre, parallèles à l'axe et ouverts à leurs extrémités, pour laisser l'eau de mer y circuler librement pendant la marche. Ces ouvertures se ferment à volonté par des vannes ou robinets. En plaçant dans le sens de la longueur des tuyaux de cuivre, des tubes parallèles qui forment le condenseur de Sauvage, la condensation s'opérera avec la plus grande facilité sans aucun emploi de force motrice ; et l'on aura de l'eau parfaitement pure, pour alimenter.

869. *Refroidissement continu de l'eau de condensation.* — Il arrive souvent que des machines à condensation sont établies dans des localités où l'eau est rare, au moins en été. L'eau nécessaire pour la condensation manque, ou est trop peu abondante, et le condenseur s'échauffe fréquemment.

En pareille circonstance, on fait circuler l'eau chaude à sa sortie du condenseur dans des canaux larges et peu profonds, à la surface de la terre, jusqu'à ce qu'elle soit complètement refroidie, en partie par le contact de l'air, en partie par l'action de l'évaporation à sa surface, et alors on la remploie à la condensation. Ce procédé vaut mieux que de l'envoyer dans plusieurs grands bassins successifs, où le refroidissement s'opère mal.

Mais afin que ce service se fasse sans difficulté, il faut toujours avoir à sa disposition un renouvellement journalier d'un quart de l'eau de condensation, pour couvrir les pertes causées par l'imbibition des terres, et par une évaporation d'autant plus considérable que l'eau présente une large surface, et se trouve à une température assez élevée.

Pompes de puits.

870. En parlant du condenseur, nous avons montré dans quelles circonstances on peut supprimer la pompe de puits et aspirer l'eau directement par la pompe du condenseur. On a vu qu'il ne faut pas adopter cette méthode, dès que le niveau constant du puits se trouve à plus de 6 mètres de profondeur, et qu'au delà il est indispensable de mettre dans le puits une pompe aspirante et foulante, pour élever l'eau.

En parlant de la pose des machines, nous donnerons les précautions à prendre pour la construction des puits, pour les sondages préliminaires et les essais à tenter avant l'établissement d'une machine à vapeur. Il faut savoir si le puits sera capable de fournir la quantité d'eau nécessaire, et s'il ne tarira pas au milieu du travail. On y trouvera aussi des détails sur leur construction, et les conditions auxquelles ils doivent satisfaire.

Nous parlons ici des pompes destinées à y puiser l'eau.

871. *De la quantité d'eau que peuvent fournir les pompes.* — Les pompes sont construites en fonte ou en cuivre : voici les données nécessaires pour vérifier si elles peuvent suffire au service de la machine. Elles ne seront pas inutiles aux manufacturiers, qui, plus d'une fois, sont obligés d'ajouter des pompes de puits à des machines qui en manquent, ou de changer des pompes trop faibles, parce que le condenseur s'échauffe trop souvent.

Nous avons dit qu'une machine à condensation demande environ 10 k. d'eau par cheval en une minute, et une machine de Watt 17 ou 18 k. La pompe de puits doit être en état de fournir

constamment plus que la machine ne consomme : et alors on établit sur le bord de la bêche un trop-plein, qui rejette dans le puits l'excédant d'eau, ou le déverse au dehors pour le service des ateliers.

872. *Proportion des pompes.* — Admettons que, pour une machine de dix chevaux, on demande à la pompe de donner 110 k. ou 110 litres par minute. Il faut ajouter à cette quantité $\frac{1}{4}$ en sus, les pompes de la meilleure construction ne donnant jamais la quantité d'eau indiquée par le calcul de leurs dimensions; nous avons reconnu, dans des travaux hydrauliques, que les pompes dont la vitesse est assez grande donnent jusqu'à 15 et 20 p. 0/0 de déchet. Au lieu de 110 litres, il faut donc compter sur 135 litres par minute, et comme la machine fait 27 tours en une minute, la pompe devra fournir 5 k. par coup de piston.

La course du piston de la pompe est déterminée par la course du tourillon du balancier auquel elle s'attache, si la machine est à balancier. Elle est, dans les machines de 10 chevaux, de 0^m,25 environ. En divisant 5 k. ou 0 m. c. c. 0,005, par 0^m,25, on trouve que le piston doit avoir 0^m,02 de surface, ou 2 décimètres carrés : ce qui équivaut à 0^m,15 de diamètre.

Si l'on admet que la machine de dix chevaux fasse 28 révolutions, le piston sera un peu moins grand, et comme nous avons compté très-largement la quantité d'eau nécessaire à la machine, on peut calculer sur 28 coups de piston, c'est le maximum de vitesse des machines de 10 chevaux.

873. *Construction de la pompe foulante.* — La pompe que nous avons reconnue être la meilleure est celle à piston plein, en bronze. On trouvera le tracé détaillé de cette pompe (*pl.* , *fig.* 60); elle est semblable aux pompes foulantes employées à l'alimentation des chaudières à moyenne et haute pression.

Les avantages qu'elle présente dans le service d'une machine sont : de ne se désorganiser que très-rarement, il n'y a d'ajustement ni dans le piston ni dans les soupapes, et elle est facile à nettoyer et à réparer; le piston ne peut jamais se déranger;

les soupapes, bien rodées ou mêmes garnies de cuir en dessous, ne s'usent jamais, et tiennent parfaitement l'eau. S'il devient nécessaire d'ouvrir la chapelle de la pompe pour le nettoyage de ces soupapes, on le fait sans peine en enlevant le plateau qui la ferme; quelquefois, on place le tuyau de refoulement immédiatement au-dessus de la boîte à soupapes : mais il faut alors soulever ce tuyau pour ouvrir la boîte, ce qui entraîne des pertes de temps.

874. *Usure des soupapes.*—Les soupapes sont en bronze, parfaitement rodées, et battent sur un siège en fonte, dressé et rodé; conduites par des guides qui leur laissent toute liberté de mouvement dans les limites voulues, elles retombent toujours d'aplomb sur leur siège, et s'usent et se rodent également. Nous en avons vu marcher dix ans et plus sans réparations, ce qui n'a pas lieu quand elles sont garnies de cuir ou de plomb.

Si, par de mauvaises dispositions de guides, elles s'usaient inégalement, la quantité d'eau fournie diminuerait, et la pompe s'arrêterait. On reconnaît cette usure, lorsqu'en mettant la machine en mouvement la pompe de puits donne 8 ou 10 coups de piston avant de fournir de l'eau; on est alors obligé de l'amorcer avec un ou deux seaux d'eau, que l'on verse sur le piston, ou dans le tuyau de refoulement, afin de couvrir la soupape supérieure. En effet, si la boîte à soupapes ne contient pas d'eau, l'air, qui passe beaucoup plus facilement que l'eau à travers les soupapes usées, vient remplir le corps de pompe à chaque coup de piston; le vide ne s'y produit plus et la pompe ne peut pas travailler. Un peu d'eau suffit pour arrêter cet effet et amorcer la pompe : quand elle est en activité, elle continue à travailler sans dérangement. L'usure trop longtemps négligée des soupapes, ou un défaut qui se découvre dans leur siège, une ouverture subite dans les masticages, ou le déchirement d'un cuir, arrêtent seuls le travail de cette pompe.

L'usure des soupapes et les défauts de fonte se corrigent en les limant et les rodant à fond. Des clapets bien dressés et bien rodés tiennent l'eau sans cuir. Quand la chapelle qui contient les

soupapes est en fonte, il faut faire les clapets en bronze, sans jamais les garnir de cuir. Les masticages se réparent, même pendant la marche, en chassant de l'étope dans les joints, au moyen d'un ciseau.

875. *Du cuir ou de la boîte à étoupe.* - Quelquefois le piston des pompes court dans deux cuirs emboutis et opposés l'un à l'autre, de manière que le premier empêche la rentrée de l'air, et le second la sortie de l'eau, comme les cuirs d'une presse hydraulique.

Mais la meilleure disposition est une simple boîte à étoupe, avec une forte rondelle de cuivre au fond. On fait la garniture avec de bonnes tresses d'étope longue, douce, bien graissée ou seulement trempée dans l'eau; on en entretient la boîte pleine, et la pompe ne demande aucune surveillance pour marcher bien et longtemps.

876. *De la hauteur à laquelle on doit placer la pompe dans un puits.* — La place que la pompe doit occuper dans le puits est importante à déterminer : à moins d'impossibilité, il faut placer le puits près de la machine, afin de mettre la pompe dans le puits même. Il y a là deux avantages : l'un, d'avoir des tuyaux d'aspiration, ou des renvois de mouvement moins longs, et par conséquent moins de perte de force; l'autre, de pouvoir placer la pompe un peu au-dessous de la moitié de la hauteur à laquelle on doit élever l'eau, tant que cette moitié n'est pas supérieure à 6 ou 7 mètres, parce qu'au-dessus l'aspiration de l'eau se fait mal, et le produit de la pompe diminue.

On a, en effet, reconnu par expérience que c'est le rapport le plus avantageux entre les longueurs des tuyaux d'aspiration et de refoulement, et que dans cette position la pompe fournit son maximum d'eau.

877. *De la pose de la pompe.* — On placera donc la pompe plus bas d'une petite quantité, que la moitié de la distance entre le niveau constant du puits et la hauteur à laquelle on monte l'eau. Ce niveau constant est le point auquel l'eau se maintient dans le puits, quand la pompe travaille à sa vitesse. Si le puits se trouve

sous la machine, la pompe sera boulonnée sur un madrier de chêne de 0^m,11, posé en travers du puits, et scellé solidement dans ses parois. Il ne faut pas placer les boulons trop près du bord du madrier, pour conserver au bois toute sa force. Il est souvent plus facile de boulonner la pompe sur le madrier, hors du puits, et de les descendre ensemble pour les y sceller. La pompe doit être parfaitement verticale, et quand la machine est à balancier, la ligne d'aplomb passant par son centre doit, comme nous le dirons, pour le centre du grand cylindre et l'axe de la manivelle, partager en deux l'arc de cercle décrit dans sa course, par le tourillon de la tringle de la pompe, afin de compenser le faux tirage donné par cet arc de cercle, faux tirage qui, sur la grande longueur de cette tringle, est à peine sensible. (Voyez *Montage des machines.*)

Le centre de la pompe doit en même temps se trouver à l'aplomb du milieu des coussinets qui serrent le prisonnier, ou, autrement dit, au milieu de sa gorge. On mettra la pompe parfaitement d'aplomb, pour que le piston, ou au moins ses cuirs, ne soient pas usés inégalement. Il faut aussi l'écarter des murs du puits, afin de pouvoir la démonter et la remonter sans embarras; cette précaution, que les monteurs négligent, est importante; de petites pertes de temps, et des difficultés sans cesse renouvelées, quand elles eussent été faciles à éviter, deviennent sérieuses : un travail qui ne demandait qu'un quart d'heure dure une ou deux heures, et la machine en souffre; faute d'avoir écarté la pompe des murs, on peut, par exemple, être obligé de desserrer et de resserrer au burin des écrous que l'on eût, dans une autre position, facilement démontés à la clef, sans les couper ni les user.

Cette observation, qui au premier coup d'œil peut paraître minutieuse, trouve de fréquentes applications dans le montage des machines; c'est un grand mérite aux constructeurs que de prévoir d'avance les accidents qui peuvent arriver à chacune des pièces de leurs machines, et d'en préparer le démontage et le raccommodage faciles et prompts.

878. *Des causes qui diminuent le produit des pompes à eau.* — Nous avons dit que les meilleures pompes, et celles qui réunissent les conditions les plus favorables, ne fournissent pas la quantité d'eau théorique qu'elles devraient donner d'après leur diamètre, leur course et leur vitesse. Cette différence entre les résultats pratiques et ceux du calcul est souvent très-grande, même dans les pompes bien construites; elle s'élève, comme nous l'avons dit, jusqu'à $1/5$, de sorte qu'une pompe calculée pour fournir 1,600 litres d'eau par heure n'en donnerait que 1,300 environ.

Plusieurs causes concourent à augmenter cette perte dans la plupart des pompes; il est utile de les connaître.

879. *De la vitesse à leur donner.* — On leur donne souvent trop de vitesse. Au delà de 15 ou 16 coups de piston par minute, avec une course de 0^m,40 environ, ou, en d'autres termes, au delà d'une vitesse de 0^m,15 à 0^m,20 par seconde, ou 0^m,25 au maximum, le travail des pompes diminue, et pour donner le même produit elles consomment plus de force. C'est qu'il se produit une augmentation dans les frottements et les contractions de l'eau, dès que celle-ci prend une vitesse plus grande.

880. *Du diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement.* — Une autre cause tend à accroître ce fâcheux effet: c'est le diamètre trop petit que l'on donne aux tuyaux d'aspiration et de refoulement, et les étranglements qu'éprouve l'eau en traversant le piston, ou les étroites soupapes de la plupart des pompes: il n'y a aucun inconvénient à rendre large le tuyau d'aspiration; il est même nécessaire de lui donner le même diamètre qu'aux soupapes, pour que la vitesse et la direction de l'eau ne soient pas changées par cet étranglement.

Celui de la pompe dont nous parlons a 0^m,08 de diamètre, et cette largeur est la plus convenable à adopter pour la quantité d'eau qu'elle doit fournir. Mais il est plus important encore, ce que l'on néglige toujours, de donner aux tuyaux de refoulement un diamètre égal à celui des soupapes et du tuyau d'aspiration. Dans de petits tuyaux, l'eau est refoulée difficilement, et le piston obligé de vaincre un effort beaucoup plus grand.

Le tuyau de refoulement se termine avantageusement à sa partie supérieure, par un tube vertical, fermé seulement par une pomme d'arrosoir mobile. Ce tuyau supplémentaire s'élève à 1^m,30 au-dessus de celui où l'eau vient se dégorger : il sert à recevoir l'eau qui n'aurait pas le temps de s'écouler pendant le refoulement du piston, et en outre à l'élever, au besoin, à une hauteur plus grande, si l'on voulait la faire couler, en tout ou en partie, ailleurs, pour quelque service. C'est ce que l'on fait en adaptant un second tuyau de décharge au-dessus du tuyau d'écoulement, que l'on bouche alors d'une quantité déterminée, au moyen d'un tampon de bois.

Il ne faut pas oublier de placer une pomme d'arrosoir au bas du tuyau d'aspiration, afin qu'aucune ordure, aucun caillou, ne puisse être aspiré par la pompe.

881. *Pompe à eau de M. E. Bourdon.* — Nous donnons, avec notre pompe à piston plein, une pompe de M. Bourdon, dont le cylindre a 0^m,21 de diamètre, et la course 0^m,40, et dont le piston est à clapet. Cette pompe, avec 20 coups de piston par minute, élève par heure :

Un cube théorique de	lit. 23,184
Et en en déduisant 1,070 litre, on a un cube réel de	20,866

Cette pompe a deux grands réservoirs d'air, en fonte, l'un sur le tuyau d'aspiration, l'autre sur celui de refoulement ; ces deux réservoirs ont pour objet d'égaliser et de rendre continu l'écoulement de l'eau, et d'éviter toute secousse dans le travail de la pompe.

Les clapets sont en bronze. En admettant que l'eau soit élevée à une hauteur verticale de 30 mètres, la puissance mécanique théorique, dépensée par la pompe sera de :

Volume d'eau montée en une seconde,	lit. 4,60
Travail par seconde,	k. 4,60 × m. 30 = km. 138

Ou chevaux théoriques,	$\frac{138}{75} =$ chev. 1,84
------------------------	-------------------------------

En comptant sur 0,66 de rendement utile pour les pompes de cette puissance, ce qui est près de la vérité, la puissance mécanique dépensée alors sera de chev. 2,86

882. *Nettoyage du puits.* — Recommandons enfin de couvrir le puits d'un plancher, surtout s'il est placé sous la machine à vapeur, afin d'arrêter toutes les pièces, boulons, rondelles, clefs, grains, etc., qui pourraient y tomber. Les puits doivent en outre être nettoyés de temps en temps, surtout quand on voit diminuer la quantité d'eau qu'ils fournissent : un simple curage fait dans les sécheresses d'été, et pendant que la pompe travaille, pour tenir le niveau de l'eau bas, suffit souvent pour augmenter beaucoup le produit du puits.

Il y a beaucoup de puits qui s'améliorent par l'usage, et qui fournissent, après une ou deux années de travail, une eau plus abondante et de meilleure qualité que celle obtenue d'abord : des établissements qui avaient été gênés primitivement par le manque d'eau, ont fini par en être abondamment pourvus. Il ne faut pourtant pas compter sur une amélioration aussi douteuse, quand on veut monter une machine à vapeur ou une usine sur un puits trop faible.

Du modérateur à boule, ou régulateur de vitesse.

883. *Méthode pratique pour le régler.* — Nous n'entrerons pas ici dans les détails de construction des modérateurs à force centrifuge, employés à régler les machines à vapeur. Il n'est pas de chauffeur qui ne sache que, lorsque la machine prend une vitesse plus grande que celle de règle, les boulets du modérateur s'écartent l'un de l'autre, et font avancer une douille qui glisse sur son axe de rotation. Cette douille ferme le robinet d'introduction ou une valve de règlement, au moyen de leviers combinés, et par conséquent ralentit la machine : quand celle-ci ne fonctionne plus assez vite, les boulets se rapprochent, la douille marche en sens contraire, le robinet d'introduction ou la valve s'ouvrent, laissent entrer dans le cylindre une plus grande quantité de vapeur, et augmentent par conséquent la vitesse de la machine.

Pour qu'un modérateur agisse utilement, il doit donc avoir une marche telle que, quand la machine travaille à sa vitesse de règle, les boulets du modérateur soient à moitié ouverts : alors si la machine se ralentit, les boulets peuvent se rapprocher et ouvrir le robinet : si au contraire la machine prend une vitesse trop grande, les boulets s'éloignent l'un de l'autre, et ferment le robinet d'introduction ou la valve.

884. *De sa vitesse moyenne.* — Il faut donc, pour poser et régler un modérateur, lui donner cette vitesse moyenne qui n'ouvre ses bras que jusqu'à moitié de leur course. Or, quand le modérateur est commandé par des engrenages, sa vitesse a été déterminée par le constructeur, et ne peut pas varier, à moins de changer les engrenages ; mais quand il est commandé par des poulies et une courroie, il est facile, en changeant le diamètre des poulies, de modifier sa vitesse. Chaque constructeur sait d'avance quelle est la vitesse de règle des modérateurs qu'il établit, parce qu'il en a calculé les dimensions pour une vitesse déterminée. Elle est ordinairement de 40 tours par minute pour les régulateurs qui sortent des ateliers de Saint-Quentin : c'est une vitesse souvent employée.

Mais si on ne la connaît pas d'avance, le plus sûr pour régler un modérateur est de le faire tourner par un moyen quelconque, une courroie et une manivelle, par exemple, etc., et de compter sa vitesse, quand il est à moitié ouvert.

885. *Détermination des poulies de commande.* — On calcule alors les diamètres des poulies pour lui donner cette vitesse trouvée par expérience.

Donnons un exemple de ce calcul bien simple.

Admettons que l'arbre du volant sur lequel on prend le mouvement, fasse 25 révolutions en une minute, avec une machine de 16 chevaux, et que l'on veuille donner 40 tours de vitesse. La poulie de commande, placée sur l'arbre du volant, ayant 0^m,38, on établit la proportion suivante, qui est une proportion inverse, parce que, plus la poulie du modérateur sera petite, plus sa vitesse sera grande.

La grande vitesse de 40 tours, est à la petite vitesse de 25, comme le grand diamètre 0^m,38 est au petit diamètre x .

$$40 : 25 = m. 0,38 : \frac{25 \times 0,38}{40} = m. 0,24.$$

On multiplie 25 par 0^m,38, et on divise le produit par 40; le quotient est le diamètre de la poulie du modérateur, qui lui donnera 40 tours : ce diamètre est 0 m. 24. Les rapports de diamètre de toutes poulies et de tous engrenages se calculent de même.

886. *Des limites dans lesquelles il régularise la vitesse des moteurs.* — Le modérateur à force centrifuge de Watt est un moyen sûr de rendre la vitesse des machines à vapeur constante, malgré les variations de pression de la vapeur et celles du travail de la machine, comme dans les ateliers où l'on emploie un grand nombre de métiers et d'outils différents, à chaque instant dégrénés et rengrenés : ce qui change la charge de la machine, et en changerait la vitesse, si le modérateur ne la régularisait pas; mais on sentira facilement que la course de ce modérateur n'a qu'une petite étendue; et si les changements dans la charge et dans la pression de la vapeur sont trop considérables, le modérateur prend une si grande ou une si petite vitesse, que ses boulets s'écartent jusqu'au bout de leur course, ou retombent tout à fait. Arrivé là, le modérateur n'agit plus, et s'il n'y a pas sur la machine un système de détente variable, il faut que le chauffeur change lui-même l'ouverture du robinet d'introduction, pour ramener la machine à sa vitesse de régime et rendre par conséquent au modérateur sa vitesse moyenne et son action efficace.

Le modérateur ne doit donc être employé que pour régulariser des changements très-modérés de vitesse, et il donne de très-bons résultats dans les filatures de coton, de lin et de laine, par exemple, et partout où l'on ne peut pas obtenir de beaux produits, si le mouvement n'est pas parfaitement régulier (602).

887. *Modérateur de M. Molinié.* — M. Molinié a construit

un modérateur sur un principe tout différent. C'est un récipient en cuir, dans lequel deux soufflets, conduits par un arbre, en communication directe avec une machine à vapeur ou une roue hydraulique, injectent de l'air en quantité plus ou moins considérable, suivant que la vitesse du moteur est plus ou moins grande. Un ou plusieurs orifices règlent à volonté et avec beaucoup de sensibilité l'écoulement de cet air au dehors, de manière à faire monter ou descendre, suivant la vitesse de l'injection, le plateau qui forme la partie supérieure du récipient flexible.

Ce plateau entraîne dans ses mouvements, comme fait la douille du modérateur à boule, la valve de la machine à vapeur ou la commande de la vanne de la roue hydraulique, ou mieux les vannes courbes en tôle de M. Molinié, et il augmente ou diminue, pour les égaliser, les quantités de vapeur ou d'eau qui agissent sur le moteur, et qui le maintiennent à la vitesse normale. Cet appareil a été appliqué dans beaucoup d'usines. MM. Combes et J.-F. Saulnier l'ont soumis à de nombreuses expériences dans divers établissements, et lui ont reconnu une grande puissance de règlement, pour ramener, en quelques secondes, à sa vitesse constante, à un 20^e près, un moteur auquel on enlève tout d'un coup sa charge entière.

Cependant aujourd'hui, ce modérateur n'est guère employé que pour quelques roues hydrauliques avec son système de vannes courbes. Dans toutes les machines que l'on construit, on applique exclusivement le modérateur de Watt, qui, exécuté avec soin sur de bons principes, et bien réglé, donne d'excellents résultats, ou celui de M. la Rivière dont les effets sont bien plus complets.

888. *Régulateur à détente de M. la Rivière* (pl. 23, fig. 70 et 71). — En construisant son régulateur, M. la Rivière a eu pour but de corriger les défauts du régulateur Molinié, qui sont surtout l'emploi d'un soufflet en cuir, placé près d'une machine à vapeur ou d'une chaudière, dont la chaleur excessive le détruit ou le déchire à tous moments.

L'appareil la Rivière consiste en un cylindre de fonte, muni

de son piston métallique garni de caoutchouc et conduit par la machine sur laquelle on le monte.

L'air est aspiré à chaque course du piston, à travers des ouvertures armées de clapets, pratiquées aux deux bouts de la petite pompe à double effet, et il est refoulé sous un piston qui monte et descend, dans un cylindre en fonte accolé au premier, au moyen de leviers articulés, et dont la tige sort par le plateau supérieur, pour conduire la valve de réglage de la machine.

On conçoit facilement qu'en faisant varier la quantité d'air aspirée et la hauteur dont s'élève à chaque course la tige du piston qui conduit la valve, ce qui a lieu en rendant ce piston un peu plus ou un peu moins lourd, on arrive, dès que la machine s'accélère trop, à fermer instantanément la valve et à régler rigoureusement la quantité de vapeur introduite en raison des besoins du travail réel que la machine doit faire, et à ouvrir instantanément aussi la valve, pour augmenter le volume introduit à pleine pression, quand la machine se ralentit. Cet appareil a un petit volume, il s'applique sans peine et à peu de frais à toutes les machines à vapeur; il ne coûte presque aucun entretien, et donne en pratique une détente réglée, très-exactement en raison de la charge que la machine entraîne à chaque instant, réglage de détente, dont les résultats sont :

Régularité entière de vitesse qui se maintient, même avec la suppression presque complète de la charge; disparition des secousses que produisent ces brusques variations de travail et économie notable de combustible due aux proportions parfaites entre la dépense de vapeur et la charge réelle à chaque instant.

De nombreux régulateurs la Rivière fonctionnent en France et en Angleterre; aucun d'eux, à notre connaissance, n'a été encore démonté, et cependant celui de l'Imprimerie impériale, à Paris, travaille depuis près de douze ans. Nous en avons fait nous-mêmes monter un assez grand nombre, sur la machine des ateliers de la prison de Fontevrault, à la boulangerie et à la pharmacie centrale des hôpitaux de Paris et ailleurs, et nous

les avons toujours vus répondre complètement à ce qu'on en attendait.

889. *Régulateur hydraulique de M. E. Bourdon* (pl. 22, fig. 66, 67 et 68). — Ce nouveau modérateur est fondé sur l'emploi combiné de la pompe centrifuge et de la vitesse d'impulsion appliquée à soutenir une colonne d'eau à une hauteur qui varie proportionnellement à la vitesse du moteur dont on se propose de régulariser la marche. Il se compose d'un réservoir rectangulaire en bois doublé de plomb, ou en fonte, sur lequel est fixée une double arcade, servant de support à un arbre vertical qui tourne librement dans deux coussinets.

A la partie inférieure de cet arbre est attaché un vase en cuivre d'une forme particulière, et fermé de toutes parts, sauf un orifice réservé à la base de l'appendice. Pour augmenter l'action centrifuge, un diaphragme horizontal, percé au centre et garni sur ses deux faces de lames minces en forme de rayons, est fixé dans l'intérieur du vase en cuivre. Un tuyau, dont l'extrémité supérieure se recourbe tangentiellement à la circonférence inférieure du vase avec lequel il n'est pas lié, se trouve fixé sur le fond du réservoir et aboutit par son autre extrémité à une colonne creuse de cuivre, qui porte à son sommet une cuvette, dans laquelle joue librement un flotteur; deux petites roues d'angle et une poulie destinée à imprimer au vase un mouvement de rotation, complètent l'appareil.

890. *Jeu de l'appareil*. — Le réservoir et le bas de la colonne étant remplis d'eau, on amorce le vase en cuivre en aspirant par un petit robinet, fixé au couvercle, l'air contenu dans l'espace vide qui se trouve au-dessus du niveau de l'eau. Cette manœuvre est faite une fois pour toutes, et n'a pas besoin d'être renouvelée. Une poulie fixée sur l'arbre du moteur ou sur un arbre intermédiaire, commande la poulie de l'appareil au moyen d'une courroie, et imprime au vase en cuivre un mouvement giratoire, dont la vitesse est en relation constante avec celle du moteur.

Dès que le vase est mis en mouvement, l'eau qu'il contient,

entraînée par l'adhérence moléculaire et par l'action des lames placées intérieurement, se meut avec lui, et prend à très peu près la vitesse du vase lui-même. Alors l'eau, en vertu de la vitesse qui lui est imprimée, et de l'action compressive due à la force centrifuge, tend à se précipiter dans le tuyau fixe dont l'orifice se présente en sens contraire de sa marche. Ce tuyau, qui communique avec le vase de la colonne, y refoule l'eau jusqu'à ce que l'équilibre s'établisse entre la puissance de compression de la pompe centrifuge et la charge due à la colonne d'eau soulevée.

Si le mouvement du moteur se ralentit, le poids de la colonne devient prépondérant, son niveau supérieur s'abaisse, et le flotteur descend de la même quantité. Lorsqu'au contraire le mouvement s'accélère, l'action compressive de la pompe augmente, et la hauteur de la colonne ainsi que le flotteur suivent son mouvement ascendant. Si enfin la vitesse reste invariable, le niveau de l'eau se maintient à une hauteur constante.

On comprend qu'il suffit d'attacher à la tige du flotteur un levier qui peut mouvoir soit la valve régulatrice, soit la vanne de détente d'une machine à vapeur, pour que la vitesse de rotation soit parfaitement régularisée.

Outre l'avantage que possède ce nouveau système de pompe centrifuge, de fonctionner hors de l'eau sans autre frottement que celui des deux collets de l'arbre vertical, et des deux roues d'angle, condition très-importante dans l'application du système, aux régulateurs des machines à vapeur et aux moteurs hydrauliques, c'est que, comparativement aux divers systèmes de pompes centrifuges connus, cet appareil, à vitesse égale, élève l'eau à une hauteur à peu près double de celle qu'on obtient avec les appareils centrifuges déjà en usage. C'est ce qui s'explique naturellement en examinant les conditions nouvelles sur lesquelles l'appareil repose.

Au lieu de n'utiliser que la force centrifuge pour élever l'eau, on utilise simultanément la vitesse dont l'eau est animée dans le vase tournant, et la force centrifuge qui tend à la comprimer

vers la circonférence du vase. Ce sont ces deux actions qui, en s'ajoutant l'une à l'autre, doublent la hauteur à laquelle la colonne d'eau est élevée.

L'expérience faite sur le régulateur de la machine d'Aubusson, le prouve nettement.

Diamètre du vase mesuré au centre de l'orifice du tuyau courbé,	mèt. 0,400
Circonférence décrite par ce point,	1,256
Nombre de tours par minute,	155
Id. par seconde,	2,58
Hauteur à laquelle, dans l'expérience, l'eau s'est élevée dans le réservoir,	mèt. 1,03
Vitesse de rotation du vase au point où l'eau s'échappe,	m. $1,256 \times 1,53 =$ m. 3,24

Or, la hauteur correspondante à une vitesse de $3^m,24$ n'est que de. $0^m,53$.

891. *Modérateur à compensation de M. Farcot* (1). — Ce modérateur, dont nous donnons le tracé (*pl. 11, fig. 20, 21, 22 et 23*), est à boules comme le modérateur de Watt. Voici sa description :

a, arbre en fer creux du modérateur.

b, tige unie à une douille mobile, commandée par le modérateur.

d, longue virole montée sur l'arbre du modérateur, avec un renflement au milieu.

c c', embases rapportées à vis aux extrémités de cette virole.

e, boîte réunie à la virole *d* par les mêmes vis, et portant un réservoir d'huile.

d, virole renfermée dans la boîte *c*, et liée par une clavette à la tige *b*.

f f', freins pouvant tourner librement sur la virole *d*.

g g', roues d'angle fixées sur les freins précédents.

l l', cônes liés à l'arbre *a* par la clavette *i i'* et tournant avec lui. Ces pièces peuvent s'écarter l'une de l'autre par suite de la longueur des mortaises des clavettes, pour pouvoir varier la

(1) Voir *Ann. des mines*, tome VII, 1845 (*Notice sur la distribution de vapeur, de M. Farcot*).

moyenne de l'approchement des cônes, qui est limité par la rainure de l'arbre; l'un d'eux porte une douille mobile munie de vis de rappel.

u, tube placé à l'intérieur de *a*, fermé par en bas et contenant un ressort à boudin, traversé par la clavette *i'*.

k, roue d'angle engrenant à la fois avec les deux roues *g g'*.

l, arbre qui porte la roue *k* et qui forme un levier dont le centre de mouvement est en *j*.

m, fourchette emmanchée, à mouvement doux, sur l'arbre *l*, et dont les branches sont fixées par des goujons au renflement de la virole *d*.

p, longue virole servant de coussinet à l'arbre *l*.

q, autre roue d'angle fixée sur l'arbre *l*.

r, fourchette dont la tige entre dans un trou pratiqué au bout de l'arbre *l*.

r', roue d'angle engrenant avec la précédente.

s, disque lié à cette roue.

t, tige portant une vis sans fin.

u, roue commandée par la vis sans fin et fixée sur l'arbre de la double came de la détente ou sur une valve.

v, frein élastique qui permet à la roue *z'* de tourner, sans entraîner la tige *v'*, quand les goujons *x x'* butent contre le support, pour limiter les mouvements de la came.

892. *Fonctionnement de l'appareil.* — Le modérateur à boule agit à la manière ordinaire, sur le levier horizontal *l* qui soulève alors la tige verticale *t* : celle-ci, par l'intermédiaire de la vis sans fin qui agit comme une crémaillère, fait marcher la roue, dont l'axe porte la double came de la détente.

En même temps que, dans son mouvement, la virole *d* fait articuler le levier, elle porte les cônes vers l'un ou l'autre des freins, et, par le frottement que produit la pression, l'un des cônes se trouve entraîné et tourne avec l'arbre horizontal au moyen des trois roues d'angle. Quand le cône supérieur est embrayé, l'arbre tourne dans un sens, et quand l'autre cône l'est, l'arbre tourne dans le sens opposé.

Le ressort intérieur a pour objet de permettre aux deux cônes de reculer autant que l'exige le mouvement du levier.

Pour le cône inférieur, le tube qui porte les ressorts, s'appuie par sa clavette dans le bout de la rainure, et le ressort se comprime au fond, au moyen d'un goujon.

Quand le cône supérieur marche, le ressort monte avec lui et l'appuie contre un goujon tenu par la clavette au fond de la rainure.

Les viroles, ainsi que la boîte, sont montées assez gaïement sur l'arbre du modérateur, pour qu'il n'y ait aucun frottement.

Le mouvement de rotation est empêché par les fourchettes, et les dents des engrenages sont en développante, pour être toujours bien engrenées, malgré le mouvement continu de l'arbre horizontal.

Quand les articulations de cet arbre ne sont pas utiles, on supprime le ressort à boudin, la boîte, une virole, un tube et un support. Alors la tige est prolongée et réunie par des clavettes aux deux cônes.

Règles pour l'établissement des machines à vapeur.

893. *Leçons de mécanique pratique de M. le général A. Morin, membre de l'Institut. Troisième volume. Des machines à vapeur* (1).

— Nous prenons dans ce travail si remarquable de mécanique industrielle, où la théorie se réunit si utilement à l'expérience pratique, les résultats et les principes généraux auxquels l'auteur arrive, pour proportionner les diverses pièces des principaux systèmes de machines à vapeur.

Ces principes, mis à la suite des types les mieux choisis de machines à vapeur, sorties des meilleurs ateliers, et que nous donnons avec toute sécurité comme modèles, compléteront les règles et les conseils qui résultent de notre travail, et serviront en même temps de guide aux mécaniciens pour leurs constructions, et aux industriels pour le choix et la vérification des moteurs qu'ils ont à acheter.

(1) Librairie scientifique (1846).

894. *Relation entre la pression dans la chaudière et dans le cylindre.* — Dans toutes les machines, aux petites comme aux grandes vitesses, il s'établit, pendant l'admission de la vapeur, une pression constante dans le cylindre dès qu'il y a une légère avance à l'admission, suffisante pour l'établissement d'une pression constante dès l'origine de la course. Pendant l'émission la pression résistante devient aussi à peu près constante, peu de temps après le commencement de la course rétrograde.

A pression égale dans la chaudière, la pression dans le cylindre dépend :

1° De l'ouverture du régulateur, ou du rapport de l'aire de cette ouverture à celle du piston ;

2° De la vitesse du piston, qui doit être comprise entre 0^m,80 et 1^m,50 en une seconde ; mais dès que l'ouverture du régulateur est devenue égale à un vingtième ou à un vingt-deuxième de la surface du piston, tout accroissement dans cette ouverture ne diminue plus sensiblement la différence entre la pression de la chaudière et celle du cylindre. Dans une machine dont les lumières ont en superficie $\frac{1}{45}$ de la surface du piston, la pression dans le cylindre est au moins les 0,90 de celle de la chaudière, à de très-grandes vitesses, dès que l'aire du régulateur est égale à $\frac{1}{35}$ de la surface du piston.

D'après une série d'expériences faites sur des locomotives par MM. Gouin et Lechatelier, quand le régulateur était à peine ouvert, avec une vitesse de 36 kilomètres à l'heure,

La pression dans la chaudière était de	atm. 5,76
Celle dans le cylindre de	2,57
Et le rapport de la seconde pression à la première de	0,44
Lorsque l'ouverture des régulateurs était de	cent. q. 54
La pression dans la chaudière était encore de	atm. 5,76
Celle dans le cylindre devenait de	5,43
Et le rapport des pressions de	0,94
Avec une ouverture de régulateur de	cent. q. 36
Le rapport des pressions était de	0,90

895. *Pression résistante derrière le piston.* — Des expériences

faites aussi sur des locomotives dans lesquelles la vapeur qui sort du cylindre, après y avoir travaillé, s'échappe par une tuyère étranglée pour donner au tirage de la chaudière l'activité nécessaire, ont montré que la *pression résistante* derrière le piston était énorme et égale à peu près à moitié de la *force motrice*.

Certainement les conditions d'évacuation de la vapeur, après qu'elle a travaillé dans les machines fixes sans condensation et autres que les locomotives, sont combinées de manière à donner le moins de résistance possible derrière le piston : les bons constructeurs élargissent en effet leur conduit de sortie, donnent un grand diamètre au tuyau d'évacuation de vapeur perdue, arrondissent les coudes, et l'arrière-pression dans les autres machines est bien moindre que dans les locomotives.

La différence entre la pression motrice et la pression résistante, dans les machines à condensation, est encore bien moindre.

Les principes qui règlent le passage de la vapeur dans les valves et tuyaux de communication de la chaudière au cylindre, résultent de cette loi trouvée par M. le général Poncelet :

Que les gaz suivent dans leur écoulement au travers des orifices ou des tubes, entre des limites étendues de pression et de longueurs de tubes, les mêmes lois, et éprouvent les mêmes contractions et les mêmes pertes de force vive que les liquides, comme s'ils étaient parfaitement incompressibles ;

Avec les machines à basse pression, pour atténuer le plus possible la différence de pression, qui est, du reste, toujours assez faible et qui ne dépasse guère $\frac{1}{33}$ de la pression dans la chaudière, entre la chaudière et le cylindre, il faut diminuer autant qu'on le pourra la distance de la chaudière au cylindre, et, quand on est forcé de les éloigner, il faut augmenter le diamètre des tuyaux ;

La section du tuyau et celles de tous les orifices qui existent entre la chaudière et le cylindre, qui sont égales entre elles, ne doivent pas être moindres que $\frac{1}{18}$ ou $\frac{1}{20}$ de la section du piston.

L'ouverture du robinet régulateur exerce une très-grande

influence sur la pression dans le cylindre, et c'est un instrument dont le mécanicien peut tirer un grand parti pour régler la marche de sa machine ; mais il résulte toujours de là une diminution de pression et une détente de vapeur qui n'est pas utilisée, étant employée à compenser les pertes de force vive et le travail consommé par la résistance des parois. Il vaut donc mieux, pour régler la marche des machines, se servir des détentes variables, et des modérateurs la Rivière ou Bourdon.

A l'état normal, l'aire de la valve régulatrice doit avoir au moins 0,75 de l'aire du tuyau de vapeur, pour que la contraction y soit aussi faible que possible.

896. *Vitesses des pistons.* — Ces vitesses, dans les machines de huit à dix chevaux, doivent être d'environ. 0^m,90

Pour les machines de quinze à vingt-cinq chevaux, de 1^m

Pour celles au-dessus, elle montera par degrés et ne dépassera pas. 1^m,30

897. *Comparaison des résultats de l'observation avec ceux des formules.* — Les formules ne donnent qu'une estimation du travail développé par la vapeur, mais elles ne tiennent aucun compte de la quantité de travail consommée par les frottements si considérables de ces machines compliquées. M. Poncelet a trouvé une méthode pour calculer directement ces dernières pertes ; mais il est souvent difficile de connaître assez exactement les dimensions et les poids des diverses pièces, pour avoir une certitude suffisante dans les résultats ; et d'ailleurs les calculs nécessaires feraient au moins perdre trop de temps aux industriels.

Or, comme les proportions et les poids des principales pièces d'une machine à vapeur, sont à peu près proportionnels à l'effort exercé sur le piston, le travail consommé par les frottements est à peu de chose près proportionnel à cette pression ; et ainsi son rapport à l'effet utile diminue quand la puissance de la machine augmente. On peut donc admettre que l'effet utile ou le travail disponible d'une machine fixe est proportionnel à la formule théorique trouvée, et que l'on peut déduire l'effet utile réel de l'effet théorique calculé par la formule, au moyen d'un coefficient

sensiblement constant pour chaque système de machines. C'est en effet ce qu'a fait M. le général Poncelet, cet esprit si pratique, pour compléter ses beaux travaux sur la puissance mécanique de la vapeur, et les rendre directement utiles à tous les industriels. Nous avons donné (tome II, page 121), d'après lui, le tableau des coefficients applicables aux principaux systèmes de machines, soit à l'état d'entretien ordinaire, soit à un excellent état d'entretien.

M. le général Morin a résumé, dans son *Traité de mécanique*, toutes les expériences faites sur les divers systèmes de machines à vapeur, et en a déduit les coefficients qui suivent :

898. *Effet utile des machines à basse pression de Watt.*— Ces machines ont, dans la chaudière, une pression de 1 atm. 25, et pas de détente notable; elles sont garanties par les constructeurs pour consommer 5 ou 6 kil. de houille par cheval de 75 kilogrammètres en une seconde. Le nombre d'unités de chaleur utilisées par kilogramme de houille brûlée sous une chaudière étant de 3750, ou la moitié de la chaleur développée par 1 kil. de houille, le rapport de l'effet utile réel à l'effet théorique est :

Pour les machines en très-bon état d'entretien. 0,547
 Pour celles en état ordinaire. 0,456

L'expérience déjà vieille de ces machines prouve qu'en fonctionnant à leur force nominale, les machines bien construites satisfont à ces conditions, et que leur consommation est la même à toute puissance, sauf une légère diminution qui marche avec l'accroissement de force. Une machine de 20 chevaux, à Sedan, consommant 5 k. 50 par cheval à l'heure, et dont le travail réel a été estimé d'après les machines conduites, a donné :

Pour le coefficient différentiel. 0,452

Une machine en très-bon état d'entretien, anglaise, a fourni, chez MM. Dolfus Mieg et C^{ie}, au frein :

Un travail de	chev. 30,1
Les résultats du calcul étaient	52,2
Coefficient,	0,576
Une autre machine d'Alsace a donné au frein	0,55

Les frottements du piston ne croissant que comme le diamètre du cylindre, et les courses des pistons étant à peu près constantes avec le diamètre, les frottements des pistons ne croissent que comme les carrés des diamètres, ce qui explique l'augmentation du rapport de travail utile dans les grandes machines.

Nous résumerons, dans un tableau, les coefficients adoptés par M. Morin.

899. *Machines à moyenne pression, à détente, condensation et à deux cylindres (système de Woolf)*. — Ces machines travaillent à 4 atmosphères et détendaient en 1846 de 1 à 5. Elles étaient alors garanties pour une consommation de 3 kil. de houille par cheval. Aujourd'hui, comme nous l'avons dit, elles détendent beaucoup plus et dépensent de 1 k. 20 à 1 k. 50.

La dépense de 2 k. 50 de houille donne pour le coefficient d'effet utile	0,390
Et celle de 3 kil.,	0,326

Les plus petits rapports sont pour les petites machines, et les plus grands pour celles de 50 chevaux et au-dessus.

Avec une machine montée par M. Kœchlin, à Rœnigen, on a :

Au frein,	chev. 20
Par la formule	66,67
Le rapport est donc de	0,300
Dans une deuxième expérience, le rapport était de	0,314
Dans une troisième, de	0,329

Une machine de MM. Risler et Dixon, montée chez M. Schlumberger et C^{ie}, de Thann, a produit :

Formule,	chev. 69,60
Au frein,	25,30

Une autre, de M. Kœchlin, avait :

Formule,	chev. 289,60
Au frein,	130,36
Rapport,	0,450
Pression,	atm. 5,25

Cette dernière machine était fortement surchargée, ayant été livrée pour 20 chevaux et marchant avec des chaudières beaucoup plus puissantes que les chaudières primitives, ce qui explique le grand travail utile obtenu.

900. *Machines à un seul cylindre, à détente et à condensation, de M. Meyer et C^{ie}.* — Une machine de M. Meyer, avec une pression de 5 atmosphères, a fourni, chez M. Dolfus-Mieg, à Mulhouse :

Au frein,	chev. 37,27
Et par la formule,	75,95
Coefficient,	0,504

Une autre machine du même constructeur, chez M. Schlumberger, a donné le résultat suivant :

Avec des pressions depuis	atm. 3,75 jusqu'à 5
Et des détentés variant de	4,50 à 3,20
Au frein, un travail utile de	chev. 115 à 120
Le coefficient était alors de	0,458
Quand le travail utile a été poussé à 154 et à 188 chev., le rapport du travail utile s'est élevé à	0,532
La moyenne de toutes ces expériences a été de	0,461

Le coefficient obtenu pour les machines à un seul cylindre est donc un peu plus grand que pour celles à deux cylindres. Les premières sont un peu plus simples que les dernières; mais elles ont des volants bien plus lourds et moins de régularité de marche.

901. *Effet utile des machines du Cornouailles.* — Le travail utile de 1 kil. de houille, dans ces machines, a plus que doublé de 1814 à 1858, résultat dû surtout à l'emploi de la détente; cet effet croit avec les dimensions des cylindres jusqu'à 1^m,780 de diamètre; il diminue quand on porte les cylindres à 2^m,030. Dans les expériences de Wicksteed, le coefficient moyen, avec les machines du Cornouailles, a été de 0,8947 et avec la machine à basse pression de Watt et Boulton, de. 0,6126

L'effet utile de la machine du Cornouailles, avec détente à 3,195 fois, est égal à 2,31 fois celui de la machine de Watt, celles-ci détendant à 1,581 fois le volume d'introduction.

902. *Machines à un ou deux cylindres, à détente et à haute pression, sans condensation.* — Une machine de M. Saulnier, à deux cylindres et deux manivelles d'équerre, marchant à 5 atmosphères, à Mulhouse, a produit :

Travail théorique,	chev. 81,50
Travail au frein,	35,50
Rapport,	0,436

La machine de Saulnier aîné, montée à l'atelier de fabrication de capsules, à l'arsenal de Metz, avec des pressions de 5,73 à 9,734 atmosphères, une détente de 2 à 4 fois le volume primitif et un travail utile de 3,85 à 11,20 chevaux, a donné pour coefficient presque régulier, 0,360.

Une machine de Hallette, montée aux houillères de la Loire, marchant à 3,75 atmosphères, sans détente, a donné :

Travail théorique,	chev. 83,69
Travail au frein,	31,21
Rapport,	0,375

La machine de Decazeville, vendue pour 100 chevaux, marchant à 8,50 atmosphères, avec détente commençant aux 7/8 de la course, a réalisé :

Effet théorique,	chev. 261,28
Effet au frein,	137,97
Rapport,	0,528

De l'ensemble de toutes les expériences rapportées par M. le général Morin résulte cette conséquence, que, dans le calcul des machines à vapeur proportionnées convenablement, en bon état et marchant dans leur état normal, c'est-à-dire avec la vanne régulatrice très-ouverte, on peut se servir des formules théoriques données au *Traité de mécanique*, en y appliquant les coeffi-

cients déterminés par des expériences, et qui sont, à très-peu près, ceux donnés par le général Poncelet dans le cours professé à l'école de Metz.

Proportions des machines.

903. *Machines à basse pression.* — Watt réglait les diamètres de ses cylindres avec le coefficient d'effet utile de 0,403 ou 0,404 ; ses machines rendaient 0,50 : il y a là une marge suffisante. La vitesse du piston variait de 0^m,90 pour les machines de 4 chevaux, à 1^m,30 pour celles de 70 chevaux et au-dessus. Le nombre des tours de volant, et les dimensions du balancier dépendant de la course et de la vitesse du piston, il faut diminuer le rapport de la course au diamètre quand la force augmente, pour ne pas avoir des nombres de tours trop petits, des balanciers trop longs, et des machines trop hautes, et enfin pour ne pas avoir un trop grand nombre de modèles de machines.

Dans le tableau du *Traité de mécanique*, page 195, la machine de 4 chevaux a, vitesse de piston par seconde. . 0,90

Machine de 4 chevaux.

Diamètre du cylindre,	mèt. 0,297
Course du piston,	0,90
Nombre de tours de volant en une minute,	30

Machine de 20 chevaux.

Vitesse du piston,	mèt. 1,10
Diamètre du cylindre,	0,601
Course du piston,	1,40
Nombre de tours de volant,	23

Machine de 40 chevaux.

Vitesse du piston,	mèt. 1,23
Diamètre du cylindre,	0,797
Course du piston,	2,10
Nombre de tours de volant,	17,5

Machine de 100 chevaux.

Vitesse du piston ,	mèt. 1,30
Diamètre du cylindre ,	1,235
Course du piston ,	2,44
Nombre de tours de volant ,	16
Dépense moyenne d'eau par cheval et par heure ,	k. 33
Dépense de vapeur par minute, à la pression atmosphérique ,	m. cc. 0,935

Volume d'eau pour condenser, vingt-sept fois le volume de vapeur.

Volume de la pompe à air, $1/50$ du volume engendré par le piston à vapeur.

Condenseur, pour enlever l'eau chaude, l'air et la vapeur, $1/6^e$ d'une course de piston, afin de suffire, au besoin, à une condensation exceptionnelle.

Aire du passage de la soupape dormante, et aire des orifices de la pompe à air, $1/4$ de celle du piston de la pompe à air.

Volume engendré par le piston de la pompe à eau froide, $1/24$ de celui du piston à vapeur.

Quand l'eau est à une petite profondeur, c'est $1/18$ du cube d'un coup de piston de la pompe alimentaire, ou $1/250$ du cube d'un coup de piston à vapeur; cette proportion répond à trois fois le cube rigoureusement nécessaire, ce qui est utile surtout dans les bateaux à vapeur, quand il faut alimenter rapidement, en cas de retard.

La capacité du condenseur doit être $1/3$ du volume engendré par le piston à vapeur; c'est trois fois les volumes réunis d'eau, d'air et de vapeur à extraire à chaque course.

Nous avons donné, tome I^{er} (*pl.* 40, *fig.* 173), le tracé du système d'alimentation des chaudières à basse pression. On trouvera aussi, dans notre premier volume, tout ce qui est relatif aux chaudières et aux fourneaux à basse et à haute pression, et aux conditions de leur meilleur service.

904. *Lumières d'admission.* — Comme le tuyau de communi-

cation de la chaudière au cylindre, leur surface doit être $1/25$ de celle du piston, et leur hauteur $1/4$ ou $1/5$ de leur largeur. Pour ne pas multiplier trop les modèles d'excentriques et des pièces qui en dépendent, on adoptera la même hauteur de lumière et la même course de tiroir, pour les machines qui ont la même course de piston.

Par l'effet du règlement des tiroirs et de la position de l'excentrique en rapport avec la manivelle, l'ouverture démasquée par le tiroir n'est pas égale en hauteur à la lumière, ce qui en diminue le passage réel : celui-ci doit donc toujours être largement suffisant.

905. *Orifices et tuyaux d'émission.* — Ceux-ci doivent être plus grands, autant que possible, que ceux d'introduction. Si la lumière, à l'introduction, est couverte en partie par le tiroir, elle est entièrement démasquée pendant l'émission : en donnant à l'ouverture réelle d'introduction $1/25$ de la surface du piston ; on peut donner plus de hauteur à la lumière d'émission.

On peut ainsi porter à $1/20$ et même à $1/15$ de la surface du piston l'aire des conduits du cylindre au condenseur. Dans les machines à haute pression, on peut même porter le diamètre du tuyau d'émission à $1/4$ de celui du piston.

906. *Machines à deux cylindres, à détente et condensation.* — L'introduction de la vapeur à une pression presque égale à celle de la chaudière, pendant toute la course du petit piston, au moyen de larges tuyaux et de tiroirs disposés en conséquence, n'est pas une bonne disposition ; il vaut mieux commencer à détendre aux $2/3$ de la course du petit piston, ce qui est facile en donnant aux tiroirs un peu de recouvrement du côté de l'admission, et un beaucoup plus grand à l'émission du petit cylindre au grand et de celui-ci au condenseur. L'emploi de la détente, dans le petit cylindre, diminue la résistance éprouvée dans le passage de la vapeur du petit au grand cylindre, utilise une plus grande portion du travail de la vapeur, et diminue aussi la résistance éprouvée par le grand piston pendant le passage au condenseur.

907. *Vitesse des pistons.* — Les pistons sont quelquefois placés

perpendiculairement au grand axe de la machine, et ils ont la même vitesse de 1 mètre en une seconde; le plus souvent ils sont dans la direction du grand axe.

Le grand piston a alors par seconde, vitesse 1^m
Et le petit, 0,75

Il vaut mieux faire croître les vitesses des pistons avec la force de la machine, comme pour celles à basse pression.

Le coefficient d'effet utile adopté pour calculer ici les machines est, pour les petites forces, de. 0,30
et, pour les grandes forces, de. 0,40

Page 217 du *Traité de mécanique*, on trouvera un tableau qui donne les diamètres du petit et du grand cylindre, de 4 à 130 chevaux. Les vitesses et les courses du grand piston, et le nombre de tours du volant, sont les mêmes que dans les machines à basse pression (page 244); nous ne les répétons pas. La course du petit piston est les 3/4 de celle du grand :

A 4 atmosphères. Machine de	4 chevaux,	{	petit cylindre,	c.	0,158
			grand id.		0,268
Id.	id. 20	{	petit cylindre,		0,299
			grand id.		0,545
Id.	id. 40	{	petit cylindre,		0,368
			grand id.		0,673
Id.	id. 60	{	petit cylindre,		0,450
			grand id.		0,821
Id.	id. 100	{	petit cylindre,		0,570
			grand id.		1,040
Id.	id. 130	{	petit cylindre,		0,650
			grand id.		1,183

Les règles qui précèdent sont d'accord avec les proportions adoptées par les meilleurs constructeurs.

A quatre atmosphères. Poids rigoureux de vapeur par heure et par cheval k. 16,80

Volume d'eau à injecter par heure : 1/6 du volume, engendré par le petit piston.

Pompe à air : rapport du volume, engendré par son piston, à celui du petit piston. 1/1,400
Rapport de la *pompe alimentaire* au cube du petit piston. 1/50

908. *Aire des orifices d'admission du petit cylindre.* — Ces orifices servant alternativement pour l'admission dans le petit, et l'émission dans le grand, doivent avoir de grandes dimensions, pour que la pression résistante qu'éprouve le petit piston pendant la détente, ne dépasse pas trop la pression motrice exercée sur le grand piston.

Il est important, contre l'avis de beaucoup de constructeurs, de ne pas leur donner des proportions décroissantes avec l'accroissement de puissance de la machine et d'adopter une proportion constante, par exemple 1/20, comme aussi pour le tuyau à vapeur. Les lumières d'admission ne sont pas tout à fait démasquées quand il y a détente dans le petit cylindre, par le recouvrement qu'opèrent les bandes du tiroir.

La valve régulatrice sera réglée de manière à avoir 0,75 de la section du tuyau à vapeur.

Le tuyau d'émission du petit au grand cylindre aura 1/5 ou 1/6 du petit piston, ce qui répond à 1/25 environ du grand; le tuyau d'émission au condenseur aura 1/15 de l'aire du grand piston. Plus qu'avec toute autre machine, les coudes ici doivent être arrondis avec soin.

M. Stéhelin donne à ses chaudières pour des machines à deux cylindres, par cheval, *une surface de 0 m, q. 80, qui donne beaucoup de puissance de vapeur.*

909. *Machines à haute pression et à détente sans condensation. Limite convenable de la détente dans ces machines.* — Coefficient d'effet utile au frein, 0,391. La pression exercée sur le piston par la vapeur motrice ne peut guère descendre au-dessous de 1,50 ou 1,60 atmosphères, pour qu'elle puisse vaincre les résistances passives de la machine. Cette limite inférieure, qui est à peu près constante avec toute pression dans la chaudière, doit être très-rapprochée, afin d'utiliser le plus possible le travail de la

vapeur, et de diminuer la résistance éprouvée par le piston pendant l'échappement.

Il faut ici employer de hautes pressions, pour que la portion de la puissance perdue par l'émission à l'air libre, de la vapeur détendue à 1,50 atmosphère, ne soit pas une fraction trop grande de sa force totale. La nécessité d'éviter les fuites défend cependant de dépasser 6 atmosphères. Les conditions à remplir exigent souvent ici la suppression de toute ou de presque toute détente : nous donnerons les principes de construction des machines à vapeur, d'après ces bases.

Le coefficient de construction adopté ici est 0,30.

910. *Vitesse du piston.* — Les vitesses des pistons sont les mêmes que celles données plus haut pour les machines à basse pression.

911. *Course du piston.* — Les courses seront proportionnées comme pour les machines à un seul cylindre à détente et condensation (page 251).

Machines à cylindres fixes, sans balanciers.

	Course.	Tours de volant.
De 6 chevaux,	0,70	33,3
De 20 id.	1,10	30
De 40 id.	1,30	28,80
De 60 id.	1,50	26
De 100 id.	1,60	24

Le nombre des tours du volant est le même pour les machines à balancier ou oscillantes.

Machines à balanciers ou oscillantes.

	Course.
De 6 chevaux,	0,90
De 20 id.	1,50
De 40 id.	2,10
De 60 id.	2,25
De 70 id. et au-dessus,	2,45

M. le général Morin a réuni dans un tableau les dimensions des cylindres des machines à haute pression, à détente et sans condensation (page 233); il fait remarquer, avec beaucoup de raison, que dans les machines à haute pression, plus que dans tout autre système, l'effet utile dépend surtout des dispositions bonnes et simples, et de la perfection du travail. Il donne le coefficient d'effet utile de 4 à 40 chevaux.

912. *Poids d'eau à vaporiser par cheval et par heure, à diverses pressions et avec des détentes nulles et variant de 1 à 4.* — A 6 atmosphères de pression et sans détente, la dépense d'eau par cheval et par heure :

Est égale à		kil. 53,26
Celle de houille à		9,70
Avec détente de 1 à 2,	} eau,	32,94
		houille,
Avec détente de 1 à 4,	} eau,	25,81
		houille,

Ces nombres sont des limites que n'atteignent pas les bonnes machines. Quand la variation de force doit durer un certain temps, il faut employer toujours la détente maximum, et marcher avec la plus grande pression possible dans la chaudière. Quand les variations sont fréquentes et accidentelles, il faut avoir un système de variation de détente, à la main du chauffeur, ou réglé par la machine elle-même, et qui la maintienne à une vitesse constante, comme fait le régulateur la Rivière ou le modérateur hydraulique de M. E. Bourdon.

913. *Poids d'eau à vaporiser par les machines à détente variable.* — Avec des détentes variables, l'économie du combustible exige que la durée de l'introduction n'exécède pas moitié de la course, avec le maximum de travail à faire. Les appareils de production de vapeur doivent être réglés sur ces bases, et à 6 atmosphères de pression, le poids d'eau à évaporer par heure sera de 32,64 k.

La pompe alimentaire reste à 1/50 ou à 1/60 du coup de piston à vapeur.

S'il s'agit de machines travaillant avec peu ou point de détente, comme dans les locomotives, et si le piston dépasse les vitesses indiquées plus haut, il faut augmenter la proportion des orifices et de tous les passages et les porter à $1/14$ ou à $1/12$ de la surface du piston.

914. *Machines à haute pression, détente et condensation, à un cylindre.* — Le prix élevé et la plus grande complication des machines de Woolf ont fait construire beaucoup de machines à un cylindre, à détente et à condensation, et souvent même des machines sans condensation.

Les machines de ce système simple sont surtout les machines de M. Meyer, de M. Farcot et celles oscillantes de M. Cavé; dans les grandes forces on emploie des balanciers. Les systèmes de détente variable les plus remarquables qu'on y adopte sont ceux de M. Meyer et de M. Farcot.

915. *Limite de la détente.* — Avec des machines à condensation on peut aller à six fois le volume primitif; au delà la pression motrice deviendrait inférieure aux résistances que les frottements et la vapeur, qui va au condenseur, opposent au piston; de plus, dans les machines à un cylindre, la puissance motrice est très-variable et très-irrégulière, à cause de la grande différence entre la pression à l'entrée et celle à la fin de la détente. Il faut alors, pour avoir quelque régularité de mouvement, prendre des volants très-lourds, qui absorbent beaucoup de force. Il ne faut donc pas régler la machine à plus de $1/6$ de détente, en laissant la détente variable aller plus loin.

Depuis la publication du *Traité de mécanique* du général Morin, M. Farcot, comme nous l'avons montré plus haut, a porté la détente jusqu'à vingt et trente fois le volume primitif, dans sa machine horizontale, à condensation, et cet exemple a été suivi par d'autres habiles constructeurs. La réunion de très-grandes détentes, de très-hautes pressions dans les chaudières à vapeur, de volants très-puissants et de vitesses considérables, de chaudières à larges surfaces et de tuyaux parfaitement enveloppés, tels sont les éléments qui ont levé les difficultés rencontrées

par les grandes détentes dans les machines à un seul cylindre, et réalisé, comme nous l'avons dit, une économie de combustible égale à celle des machines à deux cylindres.

Coefficient de construction	{	pour les petites machines,	0,34
		pour 30 chevaux et au-dessus,	0,40

916. *Vitesse des pistons.* — Les mêmes que celles des machines à basse pression, comme les courses des machines à balancier. Pour les courses des machines à cylindres fixes sans balancier et pour les machines oscillantes, il donne :

Pour 6 chevaux,	0,70
Pour 20 id.	1,10
Pour 60 id.	1,50
Pour 100 id.	1,60

Les vitesses des machines horizontales de M. Farcot sont de moitié plus grandes que celles qui précèdent.

Pour les machines à balancier, on doit prendre les courses des machines à basse pression ci-dessus.

A 5 atmosphères de pression :

	Diamètre du cylindre.
Pour 6 chevaux,	0,285
Pour 10 id.	0,339
Pour 20 id.	0,445
Pour 40 id.	0,576
Pour 60 id.	0,705
Pour 80 id.	0,798
Pour 100 id.	0,892

A 5 atmosphères. Poids d'eau maximum par heure, 29,76 k. Le volume d'une course du piston de la pompe d'injection doit être 1/16 du volume du piston à vapeur, pendant l'admission maximum.

L'aire des orifices d'admission, d'émission et la section des tuyaux, 1/20 de la surface du piston à vapeur.

917. *Des volants des machines à vapeur.* — Dans les machines à vapeur :

1° La longueur des bielles varie de quatre à cinq fois celle des manivelles.

2° La direction effective de l'effort du piston est toujours sensiblement verticale, par l'effet du parallélogramme.

3° Celui que l'autre extrémité du balancier exerce sur la bielle est oblique à cette bielle et à la verticale, et souvent à l'arc décrit par le bouton.

4° Enfin la bielle prend des inclinaisons très-variables sur la verticale, et d'autant plus grandes qu'elle est plus courte, par rapport à la manivelle et le balancier plus petit.

Quand le piston est arrivé en haut et en bas de la course, il y a deux périodes pendant lesquelles le moment de l'effort devient négatif, ce qui tend à faire rétrograder le bouton de la manivelle qui ne persévère dans son mouvement que par l'inertie du volant. De là résultent de la contrariété dans le mouvement, le refoulement du bouton sur la bielle, et réciproquement une vibration toujours fâcheuse de la bielle, d'autant plus forte que la bielle est plus courte.

918. *Avantages des bielles longues.* -- Les bielles longues ont sur les bielles courtes un très-grand avantage pour régulariser le mouvement, car il faut, avec un volant qui fait 30 tours par minute, augmenter le poids de l'anneau du volant de 10 kilog. par force de cheval, en passant d'une bielle de 6 fois la manivelle à celle de 5 fois la manivelle, et de 20 kilog., en passant à la bielle égale à 4 fois la manivelle. Watt faisait les bielles égales à 6 fois la manivelle.

Les conditions à remplir pour corriger les excès de travail que produirait cette irrégularité ne dépendent en rien du système de la machine à vapeur, mais uniquement des éléments du mouvement, qui restent les mêmes avec tous les systèmes de machines.

919. *Machines à détentés variables.* — Quand une machine doit fonctionner avec une détente variable, on proportionne le vo-

lant d'après la plus grande détente à employer; pour que le mouvement ait la régularité voulue dans le cas extrême; avec les détenteles moindres, la régularité sera plus grande encore, ce qui est avantageux; mais le poids des volants augmente beaucoup avec le rapport de la détente, d'où la nécessité de la maintenir dans de justes limites.

920. *Machines de Woolf à deux cylindres.* — Que la vapeur soit introduite à pleine pression pendant toute la course du petit piston, ou seulement pendant les deux tiers de cette course, à proportion de bielles et de manivelles égale, ces machines n'exigent pas des volants plus grands que les machines à basse pression; tandis qu'au contraire, les machines à détente et à un seul cylindre exigent, pour le même degré de régularité, des volants beaucoup plus considérables.

Pour la construction des machines sans balancier, le piston est maintenu dans sa direction verticale par des galets ou par des guides, et la bielle prend, des deux côtés, des positions symétriques, de sorte que les composantes de la pression, exercée sur le piston, sont dans un même rapport avec cette pression; mais par l'effet de l'obliquité des bielles, les bras de levier de ces composantes ne sont pas égaux pour des positions du bouton de la manivelle, également distantes à partir de l'origine de chacune des deux demi-révolutions; mais bien pour des positions également éloignées de part et d'autre de la verticale, respectivement prises dans le premier et le quatrième quart de la circonférence, et dans le deuxième et le troisième.

921. *Machines oscillantes de Gavé.* — Dans les machines oscillantes, le volant doit être plus fort que pour les machines à balancier, à 6 atmosphères de pression et sans condensation, détendant à $1/2$ du cylindre, dans le rapport de $1/25$, et il doit être plus fort, dans le rapport de $1/30$, qu'avec les machines à condensation, avec détente de 1 à 3.

922. *Machines à deux cylindres, accouplées sur le même arbre, avec manivelles d'équerre, et manivelles triples.* — Le volant peut être ici réduit à plus du quart du poids qui convient pour des

machines simples. Quant aux manivelles triples, elles réduisent le poids du volant à $1/13,3$ de ce qui serait nécessaire avec une manivelle simple, d'où il résulte que les pompes et les machines soufflantes avec des manivelles triples n'ont pas besoin de volant.

923. *Diamètre des volants :*

1° Machines à basse pression et à balancier. Le volant a 3 ou 3,5 fois la longueur de la course du piston ;

2° Machines à deux cylindres, détente, condensation et balancier; le diamètre moyen est de 3, 5 à 4 fois la course du piston;

3° Machines sans balancier, à haute pression avec ou sans détente, et avec un seul cylindre.

Le diamètre moyen est de 4 ou 4,5 fois la course du piston.

Il faut d'ailleurs éviter d'exagérer les volants, dans la crainte de trop augmenter la grandeur de la chambre de la machine et de donner une trop grande vitesse à la circonférence de l'anneau, d'où pourraient résulter des ruptures d'engrenages, par la force centrifuge qui se développe alors.

QUATRIÈME PARTIE.

SOINS GÉNÉRAUX A DONNER AUX MACHINES A VAPEUR.

Des mastics.

924. *Précautions à prendre dans les masticages.*— L'opération de mastiquer les pièces d'une machine à vapeur, ou celles d'une conduite de vapeur, d'un chauffage à vapeur ou d'une circulation d'eau, qui paraît facile au premier coup d'œil, demande au contraire une attention et des soins minutieux.

Les masticages mal faits sont une source de pertes constantes; l'air qu'ils sont destinés à arrêter et qu'ils laissent pénétrer de toutes parts, la vapeur qu'ils laissent échapper, au lieu de la maintenir, anéantissent toute la force d'une machine, et augmentent, dans un grand rapport, la consommation journalière de combustible.

D'un autre côté, la nécessité de les renouveler souvent entraîne des chômages difficiles à apprécier, et des dépenses très-fortes, en main-d'œuvre et en mastic. Le mastic rouge coûte assez cher, et c'est particulièrement celui qui demande le renouvellement le plus fréquent, s'il est mal fait. Il revient à environ 1 franc le kilogramme, et il est très-lourd.

Le seul moyen de faire les masticages bons et durables, est d'avoir des pièces bien ajustées et parfaitement dressées. Ceci dépend du soin et de l'habileté des constructeurs. Le manufacturier qui

achète une machine, ou tout autre appareil à vapeur, doit exiger la plus parfaite exécution de toutes les pièces. C'est pour lui une des meilleures garanties de la puissance, de la régularité et de l'économie d'entretien et de service de sa machine. Nous avons traité à fond ce sujet dans la deuxième partie de cet ouvrage, en parlant de *l'achat et de la réception des machines à vapeur* (680 à 692).

925. *Diverses espèces de mastics.* — Plusieurs espèces de mastics sont employées dans les machines à vapeur, suivant l'usage des pièces à mastiquer, et la pression à laquelle elles doivent résister. Les principaux sont :

1° Le mastic de fonte, employé dans les ajustements, que l'on ne démonte presque jamais, et partout où les pièces sont exposées à l'action du feu ;

2° Le mastic rouge, employé dans tous les masticages à haute et à moyenne pression qui ne subissent pas l'action du feu, et qui doivent souvent être démontés ;

3° Le mastic rouge est souvent remplacé aujourd'hui par un autre mastic noir, appelé mastic *Serbat*, du nom de son inventeur ; il se fait dans le département du Nord, coûte moins cher et tient très-bien au travail ;

4° Le blanc de céruse en pâte, employé dans les mêmes circonstances que le précédent, mais dans les machines et les chauffages à basse pression, et pour réunir ensemble les bouts taraudés des tuyaux en fer étiré.

926. *De la composition du mastic de fonte.* — Les proportions à employer dans la composition de ce mastic, pour qu'il soit fort et prenne rapidement, sont les suivantes :

Limaille de fonte non oxydée,	25 ou 30 parties.
Sel ammoniac,	1 id.
Fleur de soufre,	1 id.

Ces proportions répondent exactement à la composition du mastic employé dans les ateliers de la marine, au port de Lorient ; mais elles peuvent varier encore sans inconvénient. Quelques

mécaniciens y ajoutent 1 partie de sulfure d'antimoine ou de crocus, la composition devient alors

Limaille de fer,	100 parties.
Sel ammoniac,	2 id.
Soufre,	1 id.
Sulfure d'antimoine,	1 id.

Ce mastic prend moins vite qu'avec la composition précédente; mais le sulfure d'antimoine ne nous paraît pas lui donner plus de qualité. Watt a conseillé d'y mêler aussi une petite quantité de la poudre qui se rassemble dans l'auge des meules à aiguiser : cette poudre, contenant du fer très-divisé, détermine plus promptement l'action chimique entre la limaille de fonte et le soufre.

927. *De son emploi.* — Il y a deux manières d'employer ce mastic : en pâte molle à froid, ou sec et chaud. Dans le raccommodage des tubes et chaudières, où on doit le comprimer entre deux plaques serrées par des écrous, il faut l'employer en pâte; et le laisser durcir pendant quelques jours, parce qu'en s'échauffant lentement, et se gonflant, il remplit mieux les fentes et les joints des pièces ajustées, et que la pression des écrous suffit pour le serrer convenablement; mais toutes les fois que l'on peut le comprimer à coups de marteau, comme dans le masticage des cylindres, des bouilleurs, des boîtes à vapeur, du condenseur, des tuyaux, etc., il faut l'employer sec et chaud, et il prend à l'instant toute sa dureté.

Pour le préparer par cette seconde méthode, on prend 6 ou 8 parties de limaille de fonte que l'on mêle avec le soufre et le sel ammoniac, et on humecte légèrement le tout avec de l'eau ou avec de l'urine; celle-ci agit plus fortement : on le remue quelque temps; quand il commence à s'échauffer, on l'humecte de nouveau, et on y mêle par parties le reste de la limaille : il faut cependant lui conserver une légère humidité, et y ajouter de l'eau ou de l'urine, chaque fois qu'il commence à se sécher. Lorsqu'on le maintient ainsi à peu près sec, en un quart d'heure ou une

demi-heure au plus, il s'échauffe et dégage une vive odeur de soufre (hydrosulfate d'ammoniaque) ; on l'humecte de nouveau, et on l'emploie à l'instant même, pendant qu'il travaille encore, et parfaitement sec. Ainsi préparé, il prend immédiatement, sous les coups de marteau, la dureté de la fonte. A mesure que la combinaison du mélange s'opère, il se gonfle, et remplit toutes les ouvertures dans lesquelles on le chasse.

Si l'on tardait à s'en servir, après s'être vivement échauffé, la réaction du soufre et du fer étant terminée, il se refroidirait et perdrait ainsi toute sa force et sa qualité. Lorsqu'on veut en conserver une partie pendant quelques jours, on n'ajoute pas toute la limaille de fonte au premier mélange, de 6 ou 8 parties de limaille, avec le soufre et le sel ammoniac : mais on délaye ce mélange dans une quantité d'eau ou d'urine suffisante pour le noyer, afin de le garantir du contact de l'air ; il se conserve ainsi assez longtemps ; quand on l'emploie, on ajoute à cette pâte liquide le reste de la limaille pour la rendre sèche ; elle s'échauffe alors promptement. Si l'on a plusieurs masticages successifs à faire, on prépare le mélange de toute la dose de sel ammoniac, de soufre et d'urine en excès, avec une petite quantité de limaille ; puis on prend, à mesure des besoins, une portion de cette préparation, que l'on mêle avec la quantité nécessaire de limaille sèche, et on l'emploie dès qu'elle commence à s'échauffer.

928. C'est avec ce mastic sec que l'on réunit les bouilleurs aux chaudières, les boîtes à vapeur aux cylindres, les cylindres et le condenseur à leur enveloppe, enfin toutes les pièces où l'on peut chasser fortement le mastic, et qui ne doivent être démontées que rarement. Il résiste parfaitement à l'action de l'eau et de la vapeur, et même assez bien à celle du feu.

Cependant, à moins de nécessité absolue, il faut le laisser prendre toute sa force pendant deux jours, sans l'exposer au feu ; avant ce temps, on pourrait être obligé de recommencer le masticage, parce qu'il laisserait fuir la vapeur ; et l'on voit que la perte de temps serait, en définitive, beaucoup plus grande. Quand le temps presse, on emploie le mastic le plus sec possible, on augmente un peu la

dose de sel ammoniac, pour hâter son durcissement on le comprime plus fortement encore, et on le sèche ensuite avec un feu léger. Au moyen de ces précautions, on peut, sans inconvénient, le mettre en contact avec l'eau ou la vapeur, dix-huit ou vingt-quatre heures après qu'il a été employé.

929. Lorsqu'on ne peut pas le comprimer à coup de mattoir, on le délaye avec de l'urine pour en faire une pâte molle, que l'on chauffe quelquefois afin d'en déterminer la combinaison, surtout si l'on est en hiver, et que l'on applique à la main, en remplissant, le plus possible, l'espace que l'on veut boucher : c'est ainsi que l'on ferme, en cas d'accident, les joints des plaques de tôle qui composent les chaudières, ou que l'on raccommode les chaudières et autres pièces brisées auxquelles on peut appliquer une plaque serrée par des boulons sur le mastic en pâte, comme on le fait sur du mastic rouge, avant qu'il ait eu le temps de durcir (tome I^{er}, n^o 31).

Si l'on veut que le mastic de fonte soit bon, il faut encore que la limaille ne soit pas rouillée et qu'elle ne soit pas trop en poussière.

Pour appliquer avec succès le mastic en pâte à l'intérieur d'un cylindre en tôle clouée, ou pour arrêter toute fuite à travers les clouures, il est bon de frotter la surface de tôle ou de fonte sur laquelle le mastic doit adhérer, avec une dissolution concentrée de sel ammoniac, afin de la décaper parfaitement et d'assurer la complète adhérence du mastic avec le métal.

930. *Du mastic de fonte et de soufre fondu.* — Il est un autre mastic, composé aussi de limaille de fonte et de soufre, et qui est employé principalement à boucher et cacher les trous ou défauts des pièces de fonte. Pour le préparer, on fait fondre du soufre, et on y incorpore de la limaille de fonte; on en remplit les trous de pièces de fonte, enfin on l'arrose avec un peu d'eau contenant du sel ammoniac; il se couvre immédiatement de rouille, et il devient difficile d'en reconnaître la trace : avec un fer chaud il fond sans peine.

931. *Mastic de fonte et d'argile.* — Une autre composition de mastic, employé dans les appareils exposés à une haute tem-

pérature, comme les appareils à air chaud des forges, est de la limaille de fer pétrie avec de l'argile grasse et réfractaire, dans la proportion rigoureusement nécessaire pour donner du liant à la pâte. Le mélange, bien battu, est humecté avec du vinaigre de manière à donner à la pâte une consistance épaisse. Ce mastic dure très-longtemps, ne se gerce pas, et est inaltérable à une haute température.

932. *Du mastic rouge, de sa préparation.* — Dans les petits ajustements et le masticage des pièces bien dressées, et de celles que l'on est obligé de démonter souvent, quand elles ne sont pas exposées à une température supérieure à 180°, et où l'on ne peut par conséquent pas se servir de mastic de fonte, on emploie le mastic rouge, composé de

Céruse,	1 partie.
Minium,	1 id.

Le tout doit être parfaitement mélangé, et même tamisé ensemble, puis imbibé d'une petite quantité d'huile de lin ou de chènevis, et à défaut d'huile de lin ou de chènevis, de toute autre huile siccativante et aussi d'huile de colza que l'on ajoute seulement par petites parties, en battant le mélange avec un marteau pendant longtemps, et jusqu'à ce que la pâte soit bien liée et assez ferme. Il est bon, pour cela, de ne pas mêler immédiatement toute la céruse et le minium avec l'huile, parce que, sous les coups de marteau, la pâte, qui paraissait trop sèche au premier instant, devient bientôt trop molle, et n'a plus assez de corps pour faire de bons masticages.

Il faut donc se réserver les moyens d'y ajouter une autre quantité de matière sèche, et la battre de nouveau : le mastic doit être assez consistant pour résister un peu à la pression qu'on lui fait subir en serrant les pièces ensemble. S'il était trop mou, il ne remplirait pas aussi bien les fentes qu'il doit boucher ; et quand la vapeur viendrait à agir, il ne se durcirait pas assez vite, et la laisserait échapper. Il faudrait alors recommencer le masticage : observons aussi que tant qu'il n'est pas sec, il se

ramollit à la première action de la chaleur, ce qui exige qu'on l'emploie très-ferme, quand on mastique une pièce chaude. La pâte sera assez ferme et assez liante quand on pourra en former de petits rouleaux sans la casser.

933. *De son emploi.* — Ce mastic résiste bien à l'action de la vapeur, dans les machines à basse ou à haute pression, quoique à la longue il se décompose, et que le plomb se revivifie en partie, sous l'action combinée de l'huile et de la vapeur; mais il ne résiste pas à l'action directe du feu. Un de ses principaux avantages est de pouvoir travailler immédiatement avec les pièces dans lesquelles on l'a employé. C'est le mastic dont on se sert ordinairement pour les plateaux des cylindres, les boîtes, par exemple, et les brides qui accouplent tous les tuyaux.

934. *Masticage des tuyaux.* — Si l'on veut mastiquer ensemble deux tuyaux (*pl. 17, fig. 50 et 51*), ajustés avec une double bride de fer ou deux collerettes de fonte, on taille une rondelle de plomb de l'épaisseur de deux millimètres. On la frotte avec un peu d'huile de lin, pour que le mastic s'y attache plus facilement; on étend de chaque côté de la rondelle une couche de mastic rouge, de 6 ou 10 millimètres d'épaisseur; on la recouvre de quelques filaments d'étoupe, pour maintenir et lier encore mieux le mastic, contre la pression de la vapeur, et lui donner plus de corps quand il sera sec. On place cette rondelle entre les deux tuyaux, que l'on réunit ensuite fortement au moyen de boulons, qui doivent être serrés successivement et à plusieurs reprises, avec assez de soin pour ne pas les casser.

Afin que le mastic comprimé ne bouche pas l'ouverture des tuyaux, ou n'en gêne pas le passage, et dans tous les masticages en général, on ne doit employer que la quantité de mastic rigoureusement nécessaire, et le disposer avec soin au bord de l'ajustement à fermer. Mais il faut en outre, lorsque l'on ajuste des tuyaux de cuivre, en laisser saillir l'extrémité d'un centimètre environ au delà du collet qui réunit les tuyaux. Cette saillie entre dans le tuyau correspondant, de manière à empêcher le mastic d'y pénétrer.

Le mastic rouge sèche promptement quand il est chauffé, et il est d'une grande utilité dans tous les emplois de la vapeur.

935. *Mastic économique.* — Nous y avons apporté une modification qui en réduit le prix de moitié, et atteint le même but.

Nous le composons d'une partie de minium, une partie de céruse et deux de terre de pipe bien sèche, le tout préparé et battu avec l'huile de lin, comme le mastic précédent; il est plus long à travailler, mais il est ferme, bien liant, et résiste parfaitement à la vapeur. Il est important de n'employer ici que de la céruse pure, et sans être mêlée de sulfate de baryte ou de craie, comme cela a presque toujours lieu; ces matières étrangères ne servent à rien dans le mastic, et en diminuent la force. Ce mastic, travaillé avec de la terre de pipe, devient beaucoup plus liant, au bout de vingt-quatre heures, qu'il ne l'était au premier moment; aussi est-il bon de le préparer d'avance.

Le mastic rouge durcit en deux ou trois jours : on peut le conserver quelque temps sous l'eau, il est même prudent d'en avoir une petite quantité d'avance en cas d'accident.

936. *Mastic Serbat.* — Ce mastic, métallique et noir, remplace, dans beaucoup d'ateliers, le mastic de céruse et de minium; il coûte beaucoup moins cher : 21 francs une caisse de 30 kilogrammes prise chez M. Serbat, à Saint-Sambre, près Valenciennes (Nord).

Il est composé de :

Sulfure de plomb calciné et broyé.	12
Peroxyde de manganèse en poudre.	54
Huile de lin.	13

Il résiste plus longtemps que le mastic rouge à l'action de la vapeur et de l'eau bouillante; il doit être conservé dans un endroit frais, entouré d'un linge mouillé ou sous l'eau : sa dureté, quand il est séché, est beaucoup plus grande que celle du mastic rouge.

Pour le faire durcir rapidement, lorsque cela est nécessaire, il suffit de promener un fer rouge sur les joints faits avec ce mastic.

Lorsqu'on doit s'en servir, au moment où on en a besoin, il faut seulement le battre un peu, et il reprend tout son liant.

937. *Masticage d'un plateau.* — Donnons un exemple de ce masticage. Pour mastiquer le plateau d'un cylindre, on le nettoie et on le gratte avec soin, puis on frotte le rebord avec de l'huile de lin, afin que la fonte trop sèche ne boive pas immédiatement l'huile du mastic, et ne l'empêche d'adhérer. On place alors sur le rebord un boudin de mastic de 12 ou 15 millimètres de hauteur, que l'on enveloppe quelquefois d'étoupes, tandis que d'autres mécaniciens se contentent de le couvrir de quelques filaments de chanvre pour lui donner plus de résistance.

Il faut avoir soin de ne pas l'écraser fortement avec le doigt, parce qu'il ne pénétrerait plus dans les pores et les défauts du plateau pour les boucher. Si les deux surfaces du plateau sont parfaitement dressées, il suffit de poser le plateau sur le bourrelet de mastic, sinon on le couvre d'une rondelle de plomb, garnie en dessus d'un nouveau boudin de mastic et d'étoupes; on y descend le plateau, et on en serre les écrous. Nous avons indiqué, en parlant des cylindres (782), les précautions à prendre pour serrer ces boulons. Tous les autres ajustements au mastic rouge se font de même. Nous rappellerons, en insistant sur cette observation, que ce n'est pas la grande quantité de mastic, mais sa bonne disposition, qui fait les bons assemblages.

938. *Autre mastic à la chaux vive.* — Dans les joints de la machine à colonne d'eau de Huelgoet, M. Junker a employé un mastic très-solide, composé de chaux vive en poudre et d'huile de lin fortement lithargirée; ce mastic, qui tient parfaitement à l'eau, ne résisterait pas à l'action de la vapeur.

939. *Diverses espèces de masticages.* — Pour les machines à basse pression, on emploie quelquefois un masticage plus rapide et plus économique. Il consiste à placer entre les parties à réunir, une rondelle de carton, de plomb mince ou de toile métallique en fil de fer, et à la couvrir, de chaque côté, d'une couche de céruse broyée en pâte, avec de l'huile de lin. Cependant le mastic

rouge, en petite quantité, résiste encore mieux à la vapeur, et doit toujours être préféré.

Quelquefois on place simplement dans les joints une tresse de chanvre ou de coton, imprégnée de mastic rouge, ou même simplement de suif.

Quelques constructeurs, quand les joints métalliques sont tournés et polis, y insèrent une feuille de papier imbibée avec une dissolution saturée de sel marin; le métal se rouille, et le joint est très-solide; mais le métal est altéré, et ce masticage ne pourrait pas être démonté de temps en temps.

Un bon masticage employé pour les conduites d'eau est un mélange de poix résine et de goudron avec des tresses de chanvre. Mais le meilleur assemblage pour les tuyaux de fonte à tulipes des distributions d'eau ou de gaz est d'enfoncer une corde graissée au fond de la tulipe et de couler par-dessus du plomb que l'on matte fortement, jusqu'à ce que le joint soit parfaitement étanche.

940. *Mastic employé pour les réparations des cornues à gaz en terre.* — Voici enfin la composition d'un mastic qui pourra souvent être d'une grande utilité, peut-être même pour arrêter les fuites des bouilleurs. Il se compose de

Terre réfractaire de forges,	1 partie.
Terre réfractaire cuite, pilée et tamisée,	1 id.
Sel gros pilé et sec,	1/2 id.
Verre de bouteilles,	1/2 id.
Litharge,	1/2 id.

Le tout doit être parfaitement mélangé et battu; on le pose sur les fentes des cornues de terre à boucher, où il fond. On voit qu'il est composé de manière à être un peu fusible à une haute température, et cependant à ne pas couler et à se durcir.

941. *Fermeture par un anneau en cuivre.* — Tredgold indique un moyen assez utile pour fermer les ajustements des pièces qui sont parfaitement dressées, et qui s'emploie aussi pour les tuyaux de fer étiré, assemblés par un manchon taraudé des deux bouts

en sens contraire, c'est d'y placer un anneau en fil de cuivre ou une rondelle de cuivre ou d'étain ; le serrage des boulons suffit pour aplatir le métal, et fermer tout passage à la vapeur, même à haute pression.

942. *Joints des appareils à circulation d'eau et à vapeur.* —

Les joints des appareils qui contiennent de l'eau chaude en mouvement sont certainement les plus difficiles à faire de tous les joints, et, de plus, quand il y a une fuite, au lieu de l'arrêter sans peine en marchant, par un collier extérieur, boulonné et brisé, serrant une rondelle de plomb et du mastic rouge, on est forcé de vider l'appareil entier.

Lorsque nos tuyaux de circulation d'eau sont en fonte, nous les prenons à emboîtement, comme les tuyaux à gaz du commerce. Nous mettons sur chaque tulipe une forte frette en fer forgé, entrée au rouge, et qui est destinée à prévenir toute fente dans la fonte ; on chasse ensuite dans l'emboîtement du mastic de fonte à coups de marteau. Ce mastic s'y durcit et s'y dilate de manière à donner une excellente fermeture de tuyaux. Lorsque les tuyaux de circulation d'eau sont en fer étiré, on y brase de place en place des rondelles en tôle, derrière lesquelles on a emmanché des demi-bridés en fer forgé, percées de trous et tournant autour du tuyau, ce qui rend les montages et les démontages plus faciles. Entre les deux rondelles brasées, on place une rondelle de plomb garnie des deux côtés de mastic rouge, et on serre les brides avec des boulons.

Les tuyaux en fer étiré sont partout ailleurs assemblés par des manchons taraudés et qui entrent d'une assez grande longueur sur les bouts taraudés des tuyaux, que l'on réunit en les frottant avec soin de céruse en pâte et faisant entrer jusqu'à refus les tuyaux dans le pas des manchons, au moyen de deux fortes clefs de serrage, à griffes, qui prennent les tuyaux consécutifs ou le tuyau et le manchon. On fait, avec la céruse, un petit congé sur le bout du manchon et le raccordement du tuyau. Les distributions de vapeur en fer étiré se montent exactement avec les mêmes dispositions et les mêmes soins. Pour celles en tuyaux de

cuivre, on brase des collets en cuivre au bout des tuyaux, et on emploie pour assembler les tuyaux des brides en fer forgé, percées de trous et libres aussi sur les tuyaux. Tous ces systèmes de tuyaux doivent être montés sur des supports, ou à galets, s'ils sont assez lourds ou assez gros, ou simplement sur des supports en fer rond, avec des boîtes de dilatation de place en place, et des godets en zinc pour recevoir l'eau sous chaque boîte.

Pour les distributions de vapeur, les tuyaux de cuivre ont un défaut grave : c'est d'être mangés à l'intérieur par le courant de vapeur, qui les amincit et les détruit rapidement. En moins de douze ans, nous en avons vus être presque hors de service.

Les tuyaux en fer étiré, au contraire, outre l'avantage de coûter beaucoup moins cher que ceux de cuivre, résistent très-bien à l'action des courants intérieurs de vapeur, et le défaut qu'ils ont de s'ouvrir quelquefois sur la ligne de leur soudure, ouverture qui exige alors une brasure au cuivre, est un bien léger inconvénient auprès du défaut du cuivre.

943. *Joints métalliques, à cercle mobile, de MM. Laforest fils et Boudeville de Reims.* — Ces accouplements de tuyaux s'emploient sans plomb, ni chanvre, ni aucun mastic. Ils résistent parfaitement à toute pression, et rendent très-faciles les montages et les démontages. Voici leur prix par diamètre de tuyau, jusqu'à 50 mill. Prix du joint :

Pour tuyaux de 15 mill.,	fr. 4	;	cercles de rechange,	fr. 0,40
Joint pour	20 id.	4,50	id.	0,40
Id.	25 id.	5	id.	0,50
Id.	30 id.	6	id.	0,50
Id.	35 id.	7	id.	0,60
Id.	40 id.	7,50	id.	0,60
Id.	50 id.	8	id.	0,75

Les prix ci-dessus comprennent les cercles et boulons. On voit que ces joints reviennent à un prix assez élevé, les chiffres ci-dessus ne comprenant pas la main-d'œuvre et les frais de diverse nature pour mettre les pièces en place et ajuster les tuyaux.

944. *De la graisse des os.* — La graisse extraite des os est

d'une excellente qualité pour le graissage des machines, c'est-à-dire qu'elle ne brûle pas vite ; mais elle a souvent, par une mauvaise préparation, une odeur désagréable. En traitant les os par la vapeur sans eau, on en retire, terme moyen, 10 p. 0/0 de graisse très-propre. Pour cela on renferme les os broyés dans un vase de fonte ou de cuivre, qui porte d'un côté un tuyau destiné à y introduire la vapeur par le bas du vase, et de l'autre, un robinet pour écouler la graisse fondue. En plaçant les os dans l'eau, et y faisant passer un courant de vapeur, on en retire plus de graisse encore. Les os doivent être préalablement lavés à grande eau.

On fond la graisse, on la laisse reposer à chaud, et on la décante lentement. Elle doit être mêlée à la plombagine pour le service des engrenages.

945. *Savons employés pour graisser les engrenages et les essieux de wagons.* — Le plus ordinairement, on graisse les dents des engrenages avec un mélange de :

Suif,	2 parties.
Saindoux,	4 id.
Plombagine,	1 id.

On y mêle quelquefois du savon.

Voici deux compositions de graisse employées sur les chemins de fer pour graisser les essieux des wagons :

	Pour l'été.	Pour l'hiver.
1 ^o Suif,	kil. 50	kil. 40,50
Huile dite oléine,	13,33	17
Sel de soude,	3,34	2
Eau,	33,33	40,50
Total,	kil. 100	kil. 100

On fond le suif, et on le mélange avec un tiers de l'eau en les battant dans un tonneau armé d'un agitateur à palette. On y verse l'huile et un autre tiers de l'eau froide, puis enfin on ajoute le sel de soude, fondu dans le dernier tiers de l'eau, et on bat jusqu'à ce que, par le refroidissement, la graisse soit prise.

	Pour l'été.	Pour l'hiver.
2° Suif blanc,	kil. 33,20	kil. 25,10
Huile de baleine,	23,22	23,73
Sel de soude,	2,08	2,44
Eau,	41,50	48,73
Total,	kil. 100	kil. 100

Enfin, une patente a été prise en Angleterre pour un savon destiné à graisser les engrenages ; c'est un composé de naphthaline (goudron de houille redistillé), bouilli plusieurs heures avec 10 ou 12 p. 0/0 de soude, puis additionné de résine, de suif et d'huile de palme, ou simplement de plombagine, de goudron et de graisse (voir *Journal des usines*, tome I^{er}, p. 223).

946. *Huile de pieds de bœuf et suif*. — Nous avons dit que la meilleure huile pour les machines était l'*huile de pieds de bœuf*, qu'il fallait toujours demander de première qualité en s'adressant à des maisons connues et honorables. Il en est de même pour le suif. Les pistons se graissent avec de l'huile, ou mieux avec du suif fondu de la meilleure qualité. Pour graisser avantageusement les pistons et les cylindres, au moment de la mise en marche, il faut d'abord évacuer l'eau amassée dans le cylindre, et graisser seulement ensuite; toute la graisse serait, sans cela, entraînée avec l'eau du cylindre.

Communications de mouvement.

947. L'instruction d'un chauffeur ne serait pas complète, si, en même temps qu'il sait conduire une machine et corriger ses défauts, il ignorait quels sont les soins et les travaux que réclament les communications de mouvement, dont la surveillance lui est aussi confiée.

Nous allons passer en revue les communications de mouvement le plus fréquemment employées, les arbres, leurs paliers et leurs coussinets ou grains de bronze, les engrenages, courroies, tendeurs, cordes et chaînes.

948. *Des arbres et des paliers.* — Ce que nous avons dit des grains de bronze des machines à vapeur, à l'article de la bielle, s'applique aux arbres et aux paliers qui les portent. Il faut les graisser régulièrement tous les jours avec de bonne huile d'olive, et mieux avec de l'huile de pied de bœuf; et si l'on est forcé d'employer des huiles moins bonnes, il faut déboucher tous les jours les lumières des grains, parce que ces huiles forment un cambouis épais, et que le grain, s'il était sec, serait immédiatement rongé. Il faut aussi, surtout dans les moulins à blé, où il y a toujours une grande évaporation de farine, tenir les lumières fermées avec de petites chevilles de bois ou de fer, afin d'empêcher la poussière d'y pénétrer. C'est même une mesure très-sage, que de fermer ainsi les lumières de tous les grains.

On ne doit pas serrer fortement les paliers dans lesquels tournent les arbres. Un tour d'écrou de trop, donne aux machines une charge qui suffirait pour les arrêter, si l'arbre était gros. Cet objet demande une surveillance active dans les ateliers où il y a de longues communications de mouvement, et où une petite perte de force sur chaque palier produit une somme considérable de frottements en trop.

949. *Des grains.* — Les grains de cuivre jaune ou laiton, employés quelquefois, s'échauffent promptement, et sont mangés en peu d'instants quand on les laisse frotter à sec. On emploie partout aujourd'hui un alliage analogue au métal des cloches et des canons, et composé de :

Cuivre rouge,	80 parties.
Étain,	20 id.

Quelques fondeurs n'emploient que 16 p. 0/0 d'étain.

On peut, à défaut de cuivre rouge, prendre du laiton, mais l'alliage n'est plus aussi bon.

Cet alliage est beaucoup moins sujet à s'échauffer que le cuivre jaune, et remplace complètement celui-ci dans les grains, et même dans la fabrication des petits engrenages appliqués à un grand nombre de machines. Pour ce dernier objet, l'on

trouve dans le *Bulletin de la Société de Mulhouse* les proportions suivantes, indiquées comme les meilleures et les plus économiques :

Cuivre rouge,	90 parties.
Étain,	10 id.

950. *Alliage que l'on peut couler sur les pièces frottantes mêmes.* — Pour l'obtenir, on fait d'abord un alliage de 120 parties de cuivre, auquel on ajoute, quand il est fondu, 360 parties d'étain de première qualité et 200 parties d'antimoine, en ayant soin d'abaisser la température, dès que l'étain est dans le bain, et de le couvrir de charbon en poudre, pour ne pas le brûler.

On prend alors 500 parties de cet alliage dur, et on le jette dans 1000 parties d'étain fin fondu.

En résumé il est composé de

Cuivre rouge,	4 parties.
Antimoine,	8 id.
Étain,	96 id.

On le coule fondu sur les pièces mêmes polies, qui doivent y frotter. Il a une grande durée et les pièces ne s'y échauffent jamais.

Souvent on fait couler constamment sur les portées des arbres des gouttes non interrompues d'huile, au moyen d'un petit réservoir placé au-dessus et d'une mèche de coton, faisant siphon. Quelquefois aussi le petit réservoir est placé immédiatement au-dessus du palier, et porte à son fond une ouverture fermée par une soupape placée au bout d'un petit levier mobile sur un axe en fil de fer. Une manivelle prise par une lame placée sur l'arbre de couche, déplace à chaque tour de l'arbre la soupape, et laisse passer une goutte d'huile.

951. *Boîtes à graisse de locomotives.* — Les boîtes à graisse des locomotives sont spécialement composées de trois parties distinctes :

1° Les patins, qui sont les côtés extérieurs du palier et qui

sont destinés à glisser entre les plaques de garde et à guider le châssis sur la boîte à graisse, lorsqu'il oscille de haut en bas par suite de la flexion des ressorts. Ces pièces, pour les roues motrices, doivent être en fer, pour mieux résister aux efforts et aux chocs.

2° Les coussinets, toujours en deux parties et faits en métal de friction, en bronze, composé de 82 d'étain et 18 de cuivre, avec addition quelquefois d'un peu de zinc.

La partie supérieure supporte presque tout l'effort. Les coussinets des roues motrices sont seulement un peu plus larges que ceux des roues de support.

Pour le passage de la matière lubrifiante, le coussinet est percé d'ouvertures correspondant à celles du réservoir à huile, et des sillons ou *pattes d'araignée* sont creusés sur toute la face pour mieux répartir la matière grasse.

3° Le réservoir à graisse doit être fermé par un couvercle en tôle, à charnières ou à coulisses, pour que le sable de la voie n'y pénètre pas ; il y a un siphon quand le graissage se fait à l'huile, et deux ou trois trous, dits *lumières*, percés dans le métal, pour laisser descendre la graisse à mesure qu'elle se liquéfie. On emploie l'huile pour les essieux des locomotives seulement, et la graisse pour tous les autres véhicules des chemins de fer.

Le dessous de la boîte est quelquefois en bronze, le plus souvent en fonte. Voici (*pl. 41, fig. 111*) les détails d'une boîte à graisse d'une machine Crampton.

952. *Palier graisseur de M. E. Bourdon.* — On trouve des paliers graisseurs chez plusieurs habiles mécaniciens, chez M. Decoster, par exemple. Nous donnons (*pl. 23, fig. 71*) celui de M. Bourdon, qui est simple et se comprendra facilement avec les figures. Ce palier, destiné au graissage des arbres horizontaux, présente une rondelle fixée sur l'arbre de couche, et une enclume à charnière, à double déversoir, qui retient et déverse sur les grains en bronze l'huile élevée d'une manière continue par la rondelle.

M. Bourdon se sert de son palier pour tenir toujours les paliers

de son ventilateur, malgré une vitesse de plusieurs milliers de tours.

Il y a aussi de très-bons systèmes de graissage continu sur les locomotives.

953. *Graissage et réparation.* — Quelques observations sur le graissage et sur le raccommodage des grains de bronze compléteront ce que nous avons à en dire.

L'huile est contenue dans une burette en fer-blanc ou en cuivre étamé, mince et munie d'un long bec; le mécanicien doit toujours graisser de près et avec beaucoup d'attention; après avoir bien nettoyé et vidé l'œil des grains, il doit faire couler quelques gouttes dans les yeux des grains et remplir les réservoirs des paliers graisseurs; autrement on perd beaucoup d'huile, et les pièces mal graissées s'échauffent facilement.

Le suif et la graisse employés solides pour les essieux de locomotives ou de wagons, ou pour autres pièces de même nature, sont dans un seau en zinc ou en tôle étamée, où on en prend avec une spatule en bois pour remplir les boîtes à graisse.

Le suif, qui doit être versé fondu dans les cylindres ou sur les pistons, par exemple, est mis dans une burette plus grande fermée, et placée sur le couvercle du cylindre, pour qu'il s'y maintienne fondu, de manière à être toujours prêt pour les besoins de graissage. Toutes ces burettes doivent toujours être tenues pleines, ou au moins approvisionnées largement. Les deux points les plus importants pour le mécanicien sont de ne pas oublier une seule pièce à graisser, et en même temps de ne pas se laisser prendre par les machines en mouvement au moment du graissage. Du reste, les bons constructeurs préparent d'avance des moyens de graissage, qui permettent au mécanicien de faire sans danger ce service.

Lorsque les grains sont bien entretenus, ils peuvent durer très-longtemps; mais, pour cela, il faut les graisser souvent, toutes les douze heures au moins, et quelquefois plus fréquemment, quand ils fatiguent beaucoup, ou que les tourillons qu'ils portent ont une très-grande vitesse. Ceux des crapaudines qui

portent des arbres verticaux, ou des fusées de moulin, pouvant rester constamment pleins d'un mélange d'huile et de graisse, ne demandent pas autant de surveillance; il suffit de renouveler le mélange quand il vient à s'épaissir. Des meuniers assurent qu'en mêlant du sel à la graisse des crapaudines de cuivre, on les empêche de s'échauffer; le fait est possible, nous ne saurions l'affirmer, nous n'y voyons au reste aucun inconvénient.

Les clavettes qui pressent les grains ne doivent pas être trop serrées, afin qu'il reste toujours une légère couche d'huile ou de graisse entre le tourillon et le bronze; dès qu'ils frottent à sec, ils s'échauffent et se détruisent. Il faut en outre les garantir de la poussière ou du sable qui les rayeraient et augmenteraient le frottement. Aussi doit-on éviter de nettoyer les grains, et surtout ceux du parallélogramme, avec de l'émeri. S'il fallait le faire, on les froterait d'huile à plusieurs reprises, pour n'en laisser aucune trace sur les cuivres. Si cependant quelque grain s'usait par défaut de surveillance, il faudrait, comme nous l'avons dit, tourner et limer de nouveau le tourillon de fer, qui, en s'échauffant, s'est couvert d'une couche de cuivre, parce qu'il recommencerait à s'échauffer: s'il est trop affaibli, on le recharge d'une virole de fer mise à chaud, et on le tourne de nouveau. On ajoute ensuite au grain qui est usé une épaisseur de cuivre soudée à l'étain, quoique la chaleur du frottement détache assez facilement ces lames, quand on n'a pas soin de les mettre à queue d'aronde.

954. Pour recharger les grains usés, on les nettoie parfaitement, et on dresse leur surface intérieure; on y entaille à queue la place de l'épaisseur qui doit être faite d'une feuille de cuivre jaune, très-propre. Le cuivre rouge est trop tendre. On y ajuste la pièce ajoutée. On étame ensuite le grain et l'épaisseur assez fortement, on les applique l'un sur l'autre à chaud, et en passant un fer à souder, on les réunit ensemble; enfin on soude encore à l'étain tous les bords de la feuille, en faisant couler la soudure dans les espaces vides, et sur ceux

qui n'ont pas pris; ensuite on lime et ajuste le tout. Un grain ainsi rechargé peut durer longtemps.

Nous avons fait observer, en parlant du parallélogramme, que l'entretien des grains est de la plus haute importance, non-seulement pour que la machine n'éprouve pas de secousses, mais encore pour que le parallélogramme ne se dérègle pas. Il est évident que les grains, en s'usant, changent les niveaux des pièces qu'ils supportent. Ce doit être l'objet d'une attention toute particulière,

955. *Des grains en bois dur.* — On remplace quelquefois les grains de bronze par des grains en bois dur, comme le gaïac ou le sorbier; ils sont plus économiques et s'usent moins vite. Mais le tourillon de l'arbre est à son tour mangé, ce qui est un inconvénient beaucoup plus grave, puisque l'on ne peut pas remplacer un tourillon comme on remplace un grain. Quand la charge est légère, et la vitesse de l'arbre petite, on emploie avec succès des grains en bois; on s'est même servi de grains en étain dans quelques cas; ils sont plus chers que ceux de bronze,

956. *Des galets.* — Il en est des galets sur lesquels on fait quelquefois tourner les arbres, dans les machines à filer le coton, le lin et autres, comme des grains en bois. Quand ils sont grands, le frottement est certainement beaucoup moins considérable, mais il suffit qu'ils se dérangent ou qu'ils s'usent inégalement pour devenir immédiatement très-mauvais, et leur raccommodage est toujours long et difficile. Ce système n'est bon que pour des arbres qui ont une charge légère et une grande vitesse.

957. *Des grains en fonte et en acier.* — On se sert utilement des paliers entièrement en fonte pour porter des arbres de fonte, chargés d'un grand poids, comme ceux des roues hydrauliques, parce que, dans ce cas, les grains de bronze s'écrasent sous la charge.

Nous avons employé avec succès l'acier fondu pour faire des grains de crapaudines, et surtout celles qui portent les fusées des moulins à blé. Lorsque ces grains sont en cuivre, la charge que donne le poids de la meule, du pignon et de la fusée, et la

grande vitesse de cette dernière les échauffent et les font très-vite; cet échauffement donne un tel surcroît de charge, qu'il ralentit considérablement la vitesse du moteur.

En garnissant le fond des crapaudines d'acier fondu, et le trempant très-dur, on a un frottement doux, régulier, et on n'éprouve jamais ni échauffement, ni usure. On s'en sert aussi dans les crapaudines des arbres verticaux, et on leur donne ordinairement une surface convexe en dessus. Le pivot en acier qu'elles soutiennent est alors maintenu par les joues de la crapaudine, qui sont en bronze.

958. *Du graissage des engrenages.* — Les engrenages doivent être graissés régulièrement avec du suif mêlé de plombagine, auquel il est bon d'ajouter du savon et un peu d'huile pour le rendre plus gras. La graisse des os remplit encore parfaitement cet objet : on applique facilement cette graisse sur le côté travaillant des dents, à l'aide d'une brosse, et pendant qu'elles marchent, en ayant soin seulement de placer la brosse dans le sens où les deux roues s'éloignent l'une de l'autre, afin que si, par malheur, elle échappait de la main, elle ne soit pas entraînée entre les deux roues, qu'elle pourrait briser.

959. *Du jeu que prennent les dents de bois.* — Après avoir travaillé quelque temps, les dents de bois se dessèchent et prennent du jeu dans leurs mortaises, ce qui occasionne un bruit désagréable, et les expose à se briser. Il faut alors en arracher les goupilles, sortir les dents des mortaises, et les y faire rentrer de force, en les calant avec du gros papier, du carton ou de la toile.

Lorsque les dents en bois d'une roue sont usées de manière à engrener mal, ou quand un assez grand nombre en a été brisé par quelque accident, il vaut mieux renouveler toute la denture. Les dents nouvelles, à moins d'être diminuées considérablement sur leur épaisseur, ne s'accorderaient pas avec les anciennes, et seraient bientôt mangées.

960. *Des bois à employer pour les dents.* — Les meilleurs bois à choisir sont le gaïac, le sorbier, l'alizier et le charme, par-

faitement secs et durs, ou le bois de fer, s'il était moins rare; le bois de hêtre, employé très-souvent, parce que ceux que nous venons de citer sont plus chers ou plus rares, donne aussi de bonnes dents; mais il a le défaut de s'altérer et de passer promptement, quand il est exposé à l'humidité, comme le sont les engrenages placés sur les arbres des roues hydrauliques.

Quand ces bois sont trop nouveaux et trop frais, on les fait bouillir dans l'huile, et l'on est moins exposé à les voir se retirer en se desséchant. Par ce procédé cependant ils deviennent quelquefois cassants. Au reste, lorsque l'on divise la denture d'une roue avec la rigueur qui est nécessaire, on peut être assuré que, fût-elle en bois aussi peu dur que le hêtre, pourvu qu'il soit sec, elle durera au moins plusieurs années. La conservation des dents dépend presque uniquement de l'exactitude avec laquelle elles sont divisées, et de l'invariabilité des arbres qui les portent, comme nous le montrerons plus loin.

961. *Des mortaises des dents.* — Les mortaises, que l'on fait ordinairement dans les roues, sont droites, de sorte que le talon de la dent qui repose sur le cercle extérieur de la roue est coupé d'équerre. Il est impossible, avec ce genre de mortaises, de conserver intacte la denture d'une roue; les talons éclatent constamment, et les dents se dessèchent, et passent à travers la mortaise. Nous avons corrigé ce défaut, en faisant le haut des alvéoles en coin sur le travers de la roue (*pl. 24, fig. 73*), de manière que le talon coupé aussi en coin, et pris par les côtés dans la fonte, ne puisse jamais se briser, ni les dents tomber en dedans de la roue.

Plusieurs mécaniciens ont été obligés de buriner les roues de fonte à dents de bois, pour donner cette forme conique à leurs mortaises, parce qu'aucune des dentures qu'ils y ajustaient ne résistait au travail. Nous conseillons l'emploi de ce moyen aux manufacturiers qui seraient forcés de remplacer souvent les dents de leurs roues; le succès est assuré, et ce système est plus économique que le changement réitéré des dents; celles-ci, fabriquées en bois, coûtent fort cher.

Les roues à dents de bois qui ont plus de 0^m,18 de couronne ne doivent pas avoir une mortaise de toute leur largeur. Le cercle de fonte de la roue serait dangereusement affaibli; elle doit être divisée en deux par un anneau plein, de sorte que chaque dent de la roue est composée de deux dents de bois ajustées l'une auprès de l'autre, tournées et taillées ensemble.

962. *De la préparation et de la pose des dents.* — En tout cas, ces dents doivent être débitées plus épaisses que ne l'exige le pas de la roue, parce qu'il arrive souvent que les mortaises qui viennent à la fonte ne sont pas parfaitement espacées; alors on est obligé de regagner la division exacte sur les dents de bois (*pl. 24, fig. 72*). Elles doivent être ajustées avec soin et chassées à force, en prenant garde de briser la fonte; si le bois est très-dur et très-sec, on serait exposé à fendre les roues, en chassant leurs dents, et même à les voir se fendre plus tard, quand les dents se renfleraient par l'action de l'humidité; elles ne sont cependant jamais trop solidement fixées. On passe alors au travers de la queue des dents une goupille de fer, qui les retient quand elles se dessèchent et prennent du jeu. Les goupilles donnent beaucoup de solidité aux dents. Lorsque les trous dans lesquels on les chasse ne sont pas trop larges, elles ne tombent pas dans les roues, auxquelles, en tout cas, elles ne feraient que peu de mal.

On ne peut prendre trop de précautions pour empêcher les dents de tomber, ou même de sortir en partie de leurs alvéoles; la roue à dents de fonte, au lieu de s'engager dans l'intervalle des dents comme à l'ordinaire, serait souvent forcée, par la dent qui s'échappe, à monter sur la dent la plus voisine, à faire ainsi le tour entier de la roue, en écrasant toutes les dents avec des secousses effrayantes; un effort de ce genre est plus que suffisant pour rompre plusieurs engrenages à la suite, et quelquefois même les machines qu'ils conduisent, ou celle qui les conduit. Il n'est pas rare de voir ainsi une garniture entière d'engrenages à dents de bois rafiée en un tour de roue, faute d'avoir vérifié ou rétabli la solidité d'une ou deux dents.

963. *Du tournage des engrenages à dents de bois.* — Quand les dents sont parfaitement ajustées, on tourne la denture entière, si l'on est outillé convenablement pour le faire. Pour cela, on remplit les intervalles avec des coins de bois (*fig. 72*). Il est toujours plus facile de diviser et de caller exactement une roue lorsqu'elle est tournée, et il ne faut s'en dispenser que lorsque ce travail est tout à fait impossible.

En tournant une roue d'angle, on doit donner à la face supérieure des dents *a, b* (*fig. 77*) l'inclinaison exacte, déterminée par le rapport du diamètre des deux roues qui engrenent ensemble. Voici comment on trouvera l'inclinaison de ces dents, ou, autrement dit, l'angle que leur face supérieure *ab* fait avec la ligne *td* ou une règle placée sur le côté de la roue, perpendiculairement à son axe.

On placera une règle sur le grand côté *ef* de la roue d'angle, à dents de fonte; puis, avec une fausse équerre, on prend l'angle *feg* que forme cette règle avec le fond de l'intervalle des dents de fonte : on reporte cet angle *feg* sur un plancher, comme on le voit en *ihl* (*même fig.*); puis, au sommet de cet angle, on élève une ligne *hm*, perpendiculaire au grand côté de la roue de fonte; l'angle *lhm*, formé par la perpendiculaire et le fond de l'intervalle des dents de fonte, ou, en d'autres termes, le complément de l'angle *feg*, ou de son égal *ihl*, que nous venons de prendre avec la fausse équerre, sera l'inclinaison de la face supérieure *ab* des dents de bois sur le grand côté *cd* de la roue à dents de bois. Le dessus de ces dents de bois coïncide, à quelques millimètres près, avec le fond de l'intervalle des dents de fonte, de manière qu'il n'y a pas d'erreur sensible à prendre l'inclinaison du fond des dents de fonte pour celle du dessus des dents de bois. On fait un patron, formé d'une règle *hm*, qui se pose sur le grand côté de la roue que l'on tourne, et d'une autre petite règle *hl*, clouée solidement sur la première, et formant avec elle l'angle *lhm* que nous venons de déterminer. C'est ce patron qui sert à régler l'inclinaison de la surface des dents de bois, en ayant soin que sa direction passe toujours par le centre de la roue.

Dans le cas où l'on ne pourrait pas poser la règle sur le grand côté de la roue, on ferait un patron avec deux règles inclinées entre elles, comme les faces supérieures : ces deux règles seraient clouées ensemble en g , et formeraient entre elles l'angle $ag o$. Il est facile alors de présenter le patron $ag o$ sur la roue, pendant qu'on la tourne, en le faisant toujours passer par le centre.

On trace ensuite sur la denture la *ligne de portée*, c'est-à-dire le cercle de contact, ou le cercle primitif des roues b, c (*fig. 72*). Dans les roues à petites dentures employées aujourd'hui, cette ligne de portée est placée à 20 millimètres du fond des dents, et à 14 ou 15 millimètres de leur extrémité. Si l'on ne tourne pas la roue, ce qui est un mauvais système, on trace cette ligne avec un grand compas. La division des dents et le calage de la roue se font sur cette ligne.

Si la roue est calée sur un arbre, et que l'on ne puisse pas porter au centre la pointe du compas, on marque sur une dent la place de la ligne de portée, et en faisant tourner la roue bien centrée et bien dégauchie, comme sur un tour, devant une pointe d'acier fixe, on trace cette ligne sur toute la circonférence.

964. *De la division des dents.* — Pour diviser les dents, on prend sur la roue à dents de fonte, qui correspond à celle à dents de bois, que l'on divise, le *pas des dents*, c'est-à-dire la distance $d i$ (*fig. 73*) du milieu d'une dent au milieu de l'autre. Ces espaces doivent être rigoureusement égaux sur toute la circonférence des deux roues; car on sent qu'une légère erreur, répétée autant de fois qu'il y a de dents sur une roue, deviendrait très-grave.

Les dents de bois doivent aussi, quand on les ajuste, être très-épaisses; quoique les mortaises ne soient pas toujours parfaitement espacées, il faut néanmoins que la division, faite avec la plus grande exactitude, tombe encore au milieu de la dent qui se trouve placée un peu de côté, et qu'il reste assez de bois pour donner à cette dent autant d'épaisseur qu'aux autres. (Voyez, dans la même figure, les alvéoles mal

divisées, et les dents *aaa* que l'on y a ajustées.) Il faut, en un mot, corriger sur les dents de bois l'erreur de la division des mortaises. Si la division tombait sur la dent *a*, de sorte que, depuis le centre de cette dent jusqu'à son bord, il ne restât pas une demi-épaisseur, on serait obligé de l'enlever et d'en substituer une autre, dont le bois fût taillé de côté, comme l'indiquent les dents *b*, où la partie ponctuée montre la dent ajustée, en premier lieu, dans la mortaise, et trop étroite pour être divisée exactement. Ainsi coupée de côté, elle se raccordera avec la division de la roue.

Si cette opération n'était pas faite avec la plus grande précision, les dents de bois se mangeraient rapidement : cependant il est rare que les roues donnent rigoureusement une division conforme à la mesure du pas : il se trouve souvent, sur la circonférence entière, une erreur qui peut s'élever à quelques millimètres, surtout quand les roues sont grandes ; on répartit cette légère erreur sur toutes les dents, et elle devient insensible.

532. Si les mortaises étaient assez mal espacées pour que l'on ne pût pas atteindre une division exacte des dents sur toute la circonférence, parce que l'erreur commise sur l'une s'ajoute aux dents suivantes, et grossit de l'une à l'autre, on partagerait la roue en plusieurs parties égales, en quatre ou huit parties, par exemple ; on chercherait le pas qui divise exactement chacune de ces parties. La différence de l'un à l'autre serait si faible, qu'il deviendrait impossible de s'en apercevoir et d'en éprouver aucun inconvénient ; car, lorsque deux roues engrènent et tournent ensemble, l'erreur d'une dent ne s'ajoute pas à l'erreur des autres.

965. *Mesure d'un pas employé dans plusieurs ateliers.* — Plusieurs mécaniciens ont avec raison jugé utile d'adopter, pour le pas de leurs roues, une mesure commune : ils y ont trouvé cet avantage, que leurs roues engrènent toutes avec celles des autres ateliers qui emploient le même pas. Ainsi une mesure qui donne une force suffisante aux engrenages, et qui est usitée dans plusieurs ateliers de France et d'Angleterre, pour le pas des dents, est celle de 2 pouces anglais, ou de 0^m,0508.

966. *Tracé de l'épaisseur des dents.* — Quand une roue est ainsi divisée, et que le milieu de toutes les dents est pointé, on trace au compas leur épaisseur, qui doit être un peu moindre que l'intervalle laissé entre les dents de la roue de fonte. L'intervalle a ordinairement un dixième ou un douzième de moins que la dent. On laisse ainsi un jeu de 2 ou 3 millimètres, pour que les dents ne soient pas trop serrées dans leur marche et ne se touchent pas par derrière (1). Pour tracer ces épaisseurs parallèlement à l'axe de l'engrenage, après avoir porté au compas la moitié de l'épaisseur, de chaque côté des centres, on les pointe au crayon sur le bout des dents, et on élève, par chacun de ces points de division, des lignes perpendiculaires au côté tourné des dents; soit, par exemple (*fig. 73*), une portion d'engrenage de bois tournée, et *abcde* les points de division des dents. Il s'agit seulement d'élever sur ces points des perpendiculaires, par le procédé géométrique ordinaire, qu'on nomme le *trait carré*. Comme la distance du bord *a* d'une dent au bord semblable *e* de l'autre est égale à la distance pareille de *c* en *e*, si l'on veut élever, par exemple, une perpendiculaire en *c*, il suffit de prendre, pour les centres des arcs de cercle qui se recoupent en *f*, les points *a* et *e*. On élève ainsi, par tous ces points, des lignes perpendiculaires au côté de la roue, et par conséquent parallèles entre elles, si ce sont les dents d'un engrenage de champ, ou concourant toutes au même centre, si ce sont les dents d'une roue d'angle. On voit que, par ce moyen, la diminution de largeur des dents des roues d'angle, de la circonférence au centre, se trouve facilement déterminée. Ce procédé est aussi rapide que sûr, parce que les divisions sont toutes faites d'avance.

967. *De leur courbure.* — On refend les dents suivant les lignes ainsi tracées, en se servant d'une lame de scie très-mince. On trace ensuite leur courbure, ce qui est plus exact. Pour cela, on

(1) Pour avoir l'épaisseur des dents de bois, on divise ordinairement le pas par 2,1. — On trouvera dans plusieurs auteurs des formules simples pour calculer l'épaisseur des dents, suivant le travail qu'elles ont à faire. Voyez Morin, Taffe, etc.

pose la pointe du compas sur le centre l (*fig. 73*) d'une dent; on prend pour rayon la distance le du centre de cette dent, au côté extérieur de la plus prochaine, et, en traçant le cercle emh , on détermine à la fois la courbure de deux dents. Cette forme de dents, bien qu'elle ne soit pas rigoureuse, est assez exacte pour la pratique : elle est facile à déterminer et à tracer. On fait la même opération en prenant pour centre le milieu de chacune des dents. Il ne reste plus qu'à rectifier, suivant le tracé que l'on vient de faire, la division et l'épaisseur des dents, et à leur donner la courbure au ciseau, ce qui vaut mieux que de le faire à la râpe; celle-ci produit souvent des dents dont les flancs sont arrondis, et ne sont en contact avec les dents de fonte que par quelques points. Il faut, nous le répétons, donner aux dents des roues de champ, ou roues droites, une épaisseur égale sur toute leur largeur, et les couper perpendiculairement au plan dans lequel tourne la roue, c'est-à-dire parallèlement au bord des mortaises et à l'axe de rotation de la roue, afin que, quand elles travaillent, les dents portent en même temps sur toute leur largeur, et que l'effort y soit également réparti.

968. *De l'emploi des calibres.* — Au lieu de tracer successivement toutes les dents, on peut aussi en tracer une seule, et faire un calibre en tôle ou en cuivre (*fig. 78*) qui ait la forme de la dent, et que l'on fixe au centre de la roue par une tige de fer, comme à l'extrémité d'un grand compas. Ce calibre sert à tracer successivement l'épaisseur de toutes les dents et à en vérifier la taille. Nous y avons ajouté une double pointe de fer bc , qui, quand le calibre est en place, va se poser sur les deux centres des dents voisines, afin que l'écartement de toutes soit rigoureusement le même; de sorte que l'espace bc est égal à deux fois le pas de la roue, et que le centre du calibre coïncide avec le centre de la dent à tracer. Un autre calibre (*fig. 77*), comprenant deux ou trois dents, et où les dents sont taillées en vide, montre si elles ont une épaisseur constante sur toute leur largeur, et sert à en déterminer la courbure.

969. *Opérations à faire pour denter un engrenage.* — Voici en résumé la marche à suivre pour diviser un engrenage :

1° Le tourner en donnant aux dents des roues d'angle l'inclinaison nécessaire, et prenant, pour l'inclinaison de la face supérieure des dents de bois, le complément de l'angle que forme le fond des dents de fonte avec le grand côté de leur roue.

2° Tracer la ligne de portée sur les dents de l'anneau de l'engrenage à la même distance du fond de la dent que dans la roue à dents de fonte.

3° Diviser les dents de milieu en milieu, en prenant le pas sur la roue à dents de fonte.

4° Marquer leur épaisseur de chaque côté des centres des dents.

5° Reporter cette épaisseur sur le flanc des dents, au moyen du trait carré et de perpendiculaires.

6° Refendre les dents à la scie.

7° Les rectifier et leur donner la courbure au ciseau, et à l'aide d'un calibre, où les dents sont coupées en creux.

Quand les dents sont ainsi taillées avec soin, il ne reste plus qu'à donner un coup de râpe à celles qui ont de légers défauts, ce qui s'aperçoit facilement après quelques heures de travail. Il est prudent de faire faire aux roues deux ou trois tours à bras, pour s'assurer que rien ne peut se briser. Il faut surtout voir si les dents ne se touchent pas par derrière : si elles étaient ainsi pincées, les frottements seraient bien plus durs, et on serait quelquefois exposé à déplacer les arbres qui les portent. Un coup de ciseau ou de râpe corrigera aisément ce défaut.

Les dents des roues d'angle s'ajustent par le même système ; mais elles doivent être plus épaisses à l'extérieur qu'à l'intérieur. Pour cela le calibre, toujours armé de deux pointes qui se fixent sur le centre des deux dents voisines, doit déterminer la largeur des dents aux deux extrémités. Cette largeur est facile à trouver par le procédé du trait carré, que nous avons indiqué plus haut.

970. *Usure des roues d'angle calées sur arbre vertical.* — Les roues d'angle qui sont fixées sur des arbres verticaux sont exposées à s'user rapidement quand un collier en fer ou une embase ne les

empêche pas de glisser sur leurs clefs. C'est ce qui arrive toujours lorsqu'elles engrènent avec une roue placée au-dessus : l'huile que l'on verse sur le tourillon de l'arbre vertical graisse les clefs et les empêche de maintenir solidement la roue, que l'effort de l'autre engrenage pousse toujours en bas; dès que celui-ci, qui est horizontal, a glissé d'une petite quantité, les dents de fonte, qui n'engrènent plus assez, forment un bourrelet dans les dents de bois, et, s'appuyant sur ce bourrelet, qui augmente tous les jours, font descendre de plus en plus la roue. Il faut donc mettre toujours le pignon à dents de fonte en dessous de la roue conique horizontale, à laquelle il est lié.

971. *Du calage des roues.* — Aujourd'hui tous les engrenages, grands et petits, sont tournés, alaisés et maintenus par une ou deux clefs sur des arbres également tournés; jamais ils ne peuvent ainsi se décentrer, leur montage est plus prompt et plus sûr.

Le calage des roues sur arbres carrés, comme on le pratiquait autrefois, était une opération délicate, parce que les roues gauches, quelque bien taillées qu'elles soient, fatiguent les paliers et les grains, occasionnent des frottements et des décompositions de force considérables, et usent rapidement les dentures. On n'emploie plus que des engrenages alaisés, excepté pour de grands diamètres, dans les forges, où les calages se font en bois et en fer, mais ils ne sont pas l'objet de cet ouvrage. Les engrenages alaisés sortent de l'atelier du mécanicien complètement ajustés, et ne présentent pas d'autre difficulté pour les reposer, au besoin, que celle de les faire engrener convenablement ensemble.

972. *De la nécessité de fixer invariablement les paliers.* — Les dents sont aussi quelquefois mangées, parce que l'un des paliers qui porte l'arbre de la roue n'est pas solidement fixé, et qu'il recule lentement sous l'effort. Pour le rendre invariable, quand les boulons en sont inébranlablement scellés, il faut qu'ils n'aient pas de jeu dans les trous du palier, ou, s'ils en avaient, il y faudrait mettre une cale de fer, du côté où l'effort des roues tendrait à repousser l'arbre; autrement la roue à dents de fonte pourrait

encore échapper aux dents de bois, monter dessus, et les écraser toutes dans un seul tour.

973. *Collection de modèles d'engrenages du Conservatoire, tracés d'Olivier.* — Il y a trois cas bien distincts dans la construction des engrenages :

1° Lorsque les axes des deux roues sont parallèles, comme les engrenages plans ordinaires.

2° Quand les axes sont inclinés l'un sur l'autre, de manière à pouvoir se rencontrer en les prolongeant suffisamment, c'est le cas des engrenages coniques.

3° Lorsque les axes sont inclinés l'un sur l'autre, sans pouvoir cependant se rencontrer jamais, parce qu'ils ne sont pas dans le même plan.

Olivier, le savant professeur qui la science industrielle a perdu beaucoup trop tôt, a traité à fond cette question dans ses *Applications de géométrie descriptive* et sa *Théorie géométrique des engrenages*, et créé des méthodes pour un grand nombre de cas qu'il a découverts le premier. On trouvera au Conservatoire des arts et manufactures la collection complète de tous les genres d'engrenages qui représentent les divers cas trouvés par Olivier, et tous les autres systèmes d'engrenages. On trouvera particulièrement des modèles sur un grand nombre de cas d'engrenages engrenant ensemble, mais dont les axes ne sont pas dans le même plan, et par conséquent ne se rencontrent pas.

974. *Des cordes.* — Quand il s'agit de transmettre le mouvement au moyen de corps flexibles, il y a toujours une grande quantité de force de perdue par la roideur des cordes, et comme cette roideur est proportionnelle au carré du diamètre, il y a grand avantage à employer les cordes du plus petit diamètre, tout en les calculant pour le travail qu'elles doivent faire. Il vaut donc mieux placer les petites cordes à côté les unes des autres, au lieu d'augmenter leur diamètre. C'est pour cette raison que l'on emploie des sangles comme moyen de transmission.

C'est aussi en vertu du même principe que, dans les houillères, on a substitué aux câbles ronds longtemps employés des

cordes plates, composées d'une série de petites cordes rondes, d'excellente qualité, et fabriquées avec le plus grand soin, et cousues ensemble de manière à former une sangle qui donne une résistance et une durée bien supérieures, à poids égal. Nous dirons d'ailleurs peu de chose des cordes que l'on emploie encore souvent dans les transmissions de mouvements, parce que, partout où il n'y a pas impossibilité, il faut les remplacer par des courroies et ne s'en servir que pour des treuils, les palans, ou les appareils de ce genre. On ne saurait croire combien les machines consomment moins de force et fatiguent moins avec des courroies qu'avec des cordes. Ces dernières, en effet, n'ont jamais la flexibilité des bonnes courroies ; pour qu'elles ne glissent pas, il faut les faire marcher dans des gorges de poulies triangulaires et profondes, où elles sont toujours serrées des deux côtés. Comme elles ne frottent que par deux arêtes, ou au plus par une très-petite surface, sur les poulies, il faut les tendre plus fortement, pour les empêcher de glisser ; enfin elles sont bien plus sensibles que les courroies aux variations atmosphériques¹, et elles se tendent et se détendent avec une grande facilité, ce qui augmente encore les frottements en donnant aux arbres une charge inutile.

Dans les ateliers où l'on emploie un grand nombre de cordes, on voit, pendant les temps humides, la vitesse des moteurs se ralentir par la tension qu'elles prennent ; elles s'usent aussi bien plus vite et coûtent beaucoup plus d'entretien. Cependant les cordes sont bonnes avec des systèmes légers, et surtout quand on peut les croiser. Pour transmettre le mouvement entre deux axes qui ne sont pas parallèles, les courroies ne se tordent pas aussi bien. En tout cas, le meilleur moyen d'assembler les deux bouts d'une corde n'est pas de les épisser, ce qui est trop long à faire ou à changer. Il faut coudre à chaque extrémité un bout de cuir, et passer au travers un double crochat de fer. On peut ainsi raccourcir à volonté la corde pour la tendre.

La provenance du chanvre employé, la manière dont il a été roui et fabriqué, influent beaucoup sur la qualité des cordes préparées, autant certainement que les soins donnés au travail des cordes.

975. *Des courroies et du choix des cuirs.* — Le choix des cuirs destinés à faire des courroies est fort important. Quelques manufacturiers préfèrent les cuirs blancs, parce qu'ils sont moins chers; n'étant pas tannés comme les cuirs noirs, mais seulement pénétrés de sels et de graisse, ils sont très-sensibles aux changements de température et à l'humidité atmosphérique; ils varient de longueur tous les jours, ce qui exige un changement fréquent dans les boucles, ou donne une forte charge aux machines, quand ils se raccourcissent; en somme, ils finissent par s'allonger considérablement sous la charge; pour peu qu'ils soient larges, ils s'allongent inégalement et deviennent assez gauches pour ne pouvoir plus tenir sur les poulies. Les courroies de cuir noir, bien tanné, doivent toujours être préférées. La qualité du cuir à employer influe beaucoup sur leur durée: quand on coupe, dans tous les sens, un cuir fort, de bonne qualité, il doit toujours avoir le même aspect, la même force, le même fil et la même couleur; la coupe doit être luisante, le nerf serré et la couleur analogue à celle de la noix muscade.

Le cuir est plus fort sur le dos et à la culée.

Le cuir dont la coupe est terne, jaunâtre ou noirâtre, dont le nerf est ouvert et spongieux, qui a une raie noire au milieu, est mauvais. Pour que des cuirs soient bons pour courroies, il faut aussi qu'ils ne se gercent pas quand on les presse, ce qui montrerait qu'ils sont brûlés. Il est important, enfin, de choisir les courroies égales d'épaisseur, pour qu'en s'allongeant elles ne gauchissent pas. Lorsqu'elles ne doivent pas être démontées souvent, on en coud les extrémités avec une lanière de cuir arrêtée par un nœud: ainsi cousues, les courroies ne se déchirent pas comme avec des boucles. Mais quand le besoin d'en changer souvent la longueur exige l'emploi des boucles, comme dans les filatures, il faut leur donner deux ou trois ardillons afin de déchirer moins facilement la courroie, et on doit avoir soin de placer la boucle de manière que l'ardillon monte toujours sur le tambour à reculons, c'est-à-dire la pointe en bas; s'il montait la pointe en haut, il pourrait accrocher les vêtements des ouvriers et les entraîner autour des tambours.

976. *Courroies en caoutchouc vulcanisé.* — Celles-ci sont d'excellentes courroies : fermes, fortes, et réglées à l'épaisseur demandée, presque insensibles aux variations atmosphériques, ne travaillant pas, et par conséquent ne se tordant pas, elles ont beaucoup plus de durée et rendent d'excellents services : elles ont seulement le défaut de coûter plus cher que les courroies de cuir et de se durcir au bout d'un certain temps.

977. *Conditions pour que des courroies marchent bien.* — Pour que les courroies marchent bien et sans glisser, il faut plusieurs conditions : d'abord, que les arbres qu'elles conduisent soient assez éloignés l'un de l'autre, et que la courroie puisse être lâche et conduire la poulie par son propre poids ; si elle était trop tendue, elle donnerait un grand tirage au moteur. Nous avons vu des arbres de manège casser par la tension d'une courroie. Dans les établissements où l'on emploie un grand nombre de courroies, il y faut donner la plus grande attention. L'autre condition est d'avoir, pour ne pas glisser, une vitesse suffisante, qui ne doit pas être au-dessous de 1 mètre par seconde.

Si l'on voit une courroie s'allonger constamment, ce qui a lieu lorsqu'elle fait un trop grand effort ou qu'elle marche trop lentement, il faut la doubler ; quand elle est trop faible, elle continue à s'allonger aux dépens de son épaisseur et de sa largeur, et à s'affaiblir de plus en plus jusqu'à ce qu'elle rompe. Une courroie double, au contraire, ne fatigue pas, ne s'allonge jamais, et ne demande pas à être tendue aussi roide ; celles des tire-sacs employés dans les moulins à blé, par exemple, doivent toujours être doublées et quelquefois même cousues triples d'épaisseur.

978. *De leur entretien.* — L'entretien des courroies consiste à les graisser de temps en temps, tous les deux ou trois mois ; par exemple, quand on s'aperçoit qu'elles commencent à sécher, à devenir rudes à la surface frottante, à glisser. Si on ne les graissait pas, elles s'échaufferaient promptement en glissant sur la fonte ou le bois, se brûleraient et casseraient bientôt. La meilleure composition pour les graisser est celle-ci :

Huile de poisson,	4 parties.
Poix résine,	1 id.
Goudron,	1 id.

Ces substances doivent être fondues ensemble et passées à chaud sur le cuir.

979. *De la pose des tambours et poulies destinés à porter les courroies.* — On voit encore souvent les courroies glisser hors de leurs poulies : et l'on est obligé de les maintenir, au moyen de rouleaux ou de morceaux de bois contre lesquels elles frottent et s'usent beaucoup; c'est alors que les deux arbres des tambours ou des poulies ne sont pas parallèles. Le meilleur moyen pour retenir les courroies sur les poulies, et le seul que l'on doive employer, c'est de donner tous ses soins à placer parallèlement les axes des tambours ou des poulies de commande, et ceux des métiers : jamais alors une courroie n'échappe; on n'a pas besoin de lui donner autant de tension, et elle s'use et se déforme moins : si cependant les arbres cessaient d'être parallèles, parce qu'un des grains de bronze se serait limé, et que l'on n'eût pas le temps de le raccommoder, ou d'y mettre une épaisseur, la courroie monterait de suite sur le tambour du côté le plus haut, et elle tendrait à s'échapper de la poulie. Il ne faut pas y mettre de guides; mais on doit clouer sur le tambour, exactement en face du milieu de la poulie, une petite lanière de cuir de 10 millimètres environ de largeur. Cette lanière forme un léger bourrelet, sur lequel la courroie se met immédiatement à cheval, pour ne jamais le quitter.

On donne aussi avec avantage des rebords aux poulies, quand on craint que la courroie ne tombe, ou quand elle se trouve lâche et pourrait glisser, ou lorsqu'on ne peut pas l'empêcher de tirer un peu gauche.

980. *Utilité des courroies dans les transmissions.* — Un des grands avantages des courroies est de pouvoir transmettre le mouvement dans tous les sens, sans appareils compliqués, et avec peu de frottement. On s'en sert même pour le communi-

quer entre deux arbres verticaux. Dans ce cas, il faut mettre sur chaque arbre un tambour conique, et tourner les deux cônes en sens opposés; la courroie, tendant à monter à la fois sur les deux cônes qui sont en sens contraire, ne peut pas se déranger de sa position. On transmet même, sans difficulté, le mouvement d'un arbre vertical à un arbre horizontal; les courroies se tordent en tout sens sans difficulté.

981. *Des chaînes.* — On emploie quelquefois aussi des chaînes en fer ou en bois, pour transmettre le mouvement; mais ce système doit être remplacé, le plus qu'on peut, par les courroies et ne doit être adopté que lorsqu'il est impossible de se servir de celles-ci: si, par exemple, il faut prendre du mouvement sur l'arbre toujours mouillé d'une roue à eau, ou le communiquer entre des arbres à petite vitesse. Il est alors nécessaire de placer les poulies dentées sur lesquelles marche la chaîne parfaitement à l'aplomb l'une de l'autre, pour que la chaîne ne tende pas à sortir des dents.

982. *Des chaînes-Galle.* — Parmi toutes les chaînes, le meilleur moyen de transmission de mouvement, celui qui ne permet pas de glissement, et qui est très-facile à disposer, c'est la *chaîne-Galle*.

Fabriquée de différentes forces et numéros, on la passe, pour transmettre le mouvement, sur deux petits engrenages de fonte dentés à la circonférence, et dont les dents entrent dans les mailles de la chaîne; elle permet d'établir une communication entre deux arbres qui n'ont pas assez de vitesse, ou qui sont trop baignés d'eau pour marcher avec des courroies sans glisser, ou sans que les courroies soient trop vite détruites.

Conduite des machines à vapeur.

983. *De la nécessité de réparer immédiatement les accidents.*
— La première pensée qui doit se présenter à l'esprit des manufacturiers, et surtout de ceux auxquels le haut prix du combus-

tible fait une loi des machines à condensation et à grande détente, c'est que la moindre négligence dans leur entretien, un court délai dans la réparation d'un accident souvent léger, entraîne immédiatement une diminution grave dans la force de la machine.

Une des clavettes de la tige du piston peut s'échapper si on a négligé seulement de l'ouvrir, et le piston peut briser par suite le balancier. Des masticages mal entretenus permettent à l'air de pénétrer dans les tuyaux et le cylindre, et alors la quantité de houille brûlée, c'est-à-dire la plus forte dépense d'une machine, s'élève quelquefois au double. Une chaudière est devenue trop sale sans que l'on pense à la nettoyer, et les chauffeurs sont obligés de faire le feu le plus violent pour soutenir la vapeur à sa pression ordinaire. La consommation de la houille augmente dans un rapport bien plus grand que l'excès de force obtenu; la machine fatiguée s'use rapidement, et presque toujours on voit, dans ce moment de travail forcé, les bouilleurs brûlés par suite de la haute température à laquelle ils sont portés, et par suite de la violence des feux qu'il faut faire. En un mot, on est entraîné inévitablement dans de longs et coûteux chômages, pour avoir voulu éviter une réparation de quelques heures, et l'on expose la machine aux accidents les plus graves, et même à des altérations profondes et irréparables.

Nous avons dit que des balanciers et des bielles avaient été brisés, parce que les massifs tassaient toujours, ou parce que le piston donnait des chocs violents à son passage inférieur surtout. Ainsi aucune raison ne doit faire ajourner une réparation de quelques heures.

984. *De la surcharge des machines.* — Un autre danger auquel les machines à vapeur sont presque toutes exposées, c'est une imprudente surcharge. Quels que soient leur système et leur construction, elles ne peuvent résister longtemps à un travail excessif. Les masticages se détruisent sous l'action de la vapeur à haute pression; les ressorts des pistons se fatiguent; tous les

grains se liment lentement; les ajustements se détruisent; enfin on subit les inconvénients d'une charge forcée, c'est-à-dire de fréquents accidents et de continuelles réparations.

Le prix encore assez élevé des machines à vapeur engage souvent le propriétaire d'un établissement qui se forme, à se régler sur ses besoins actuels, mesurés beaucoup trop bas.

Dès que l'établissement prospère, la nécessité de l'accroître fait surcharger la machine, si elle est assez bonne pour le supporter. Nous ne saurions engager trop fortement les industriels à se réserver un large excédant de puissance dans l'achat des machines, et à maintenir toujours leur charge au-dessous de celle qu'elles sont capables de supporter. Ils y trouveront certainement un grand avantage, soit par la diminution des frais d'entretien, soit surtout par l'absence des chômages inévitables avec une machine surchargée. Nous reviendrons sur cette question.

Une bonne machine à vapeur doit donner un travail constant et même fort; mais elle exige à son tour des soins assidus, et d'autant plus grands qu'on lui demande plus d'efforts. Sous une faible charge, quel que soit son système, sa marche est toujours régulière et facile. Lorsqu'elle est chargée comme l'exigent les besoins d'une entreprise active, et menée économiquement, surtout, comme nous venons de le dire, quand la prospérité de cette entreprise lui impose une surcharge de travail, imprévue à son établissement et inévitable, c'est alors que les soins et l'exacte surveillance doivent redoubler, et qu'il la faut, pour ainsi dire, nourrir et entretenir en proportion des services qu'elle rend et des chances bien plus nombreuses de maladies auxquelles elle est exposée.

985. *Des défauts que doivent éviter les propriétaires de machines à vapeur.* — Beaucoup d'établissements ont échoué, ou ils ont trouvé le travail des machines à vapeur trop onéreux, parce que leurs chefs n'ont pas su conduire ces machines, et en obtenir, avec économie, tout le travail dont elles sont capables. Les uns abandonnent leur moteur aux soins des chauffeurs, sans

se rendre compte de ses frais journaliers de consommation ou d'entretien et de son travail réel; d'autres le surchargent hors de toute mesure, et attentifs seulement au temps et à la quantité d'ouvrage fait, ne s'inquiètent ni de la grande consommation de combustible, ni des frais énormes d'entretien, en graisse, mastic, main-d'œuvre et raccommodages. Ils oublient aussi la détérioration de la machine même, et vont en avant, jusqu'au moment où il faut enfin suspendre pour longtemps ses travaux, et ajouter à des dépenses superflues et mal appliquées d'entretien de nouvelles dépenses de réparation, qui eussent été toutes faciles à éviter.

D'autres encore, frappés de la somme de frais journaliers nécessaire à l'activité d'une machine, et ne calculant pas les effets de leur suppression, et la perte qui en résultera dans sa puissance, se refusent à toute dépense autre que celle du combustible; ceux-ci se contentent de profiter du travail de la machine tel qu'elle le fournit, sans aucune de ces précautions d'hygiène qui entretiennent la santé et la vigueur, et qui attaquent, au moyen de remèdes simples, une maladie naissante, pour n'avoir pas à la combattre dans son développement, par un traitement long, difficile et coûteux. On en voit enfin qui portent jusqu'à la minutie l'excès des soins à donner à leur machine, y emploient tout le temps qu'elle devrait occuper au travail, et l'arrêtent à chaque instant pour la cause la plus insignifiante. Ces derniers, trompés sur le but qu'ils doivent se proposer, laissent de côté la quantité définitive de travail du moteur, qui doit être le résultat final de tous les calculs, pour ne penser qu'à la perfection de sa marche, quelque coûteuse qu'elle puisse être, en dépenses diverses et en chômages : tout importantes que soient les réparations immédiates d'une machine, il en est qui, par les pertes de temps dont elles sont la cause, coûtent plus qu'elles ne valent.

986. *Du but que l'on doit se proposer.* — La grande difficulté est de déterminer quels sont les défauts qui n'offrent aucun danger présent, ou qui ne s'aggravent pas rapidement, et quels

sont ceux dont la correction ne permet aucun retard : il faut savoir apprécier d'avance le temps nécessaire pour une réparation, la combiner avec quelques autres, profiter des arrêts forcés pour remettre la machine en état, et prévoir même les altérations futures; il faut enfin employer tous les moyens, afin d'abrégier les chômages.

Dans les manufactures, rien n'est plus cher qu'un chômage; aucun ennemi n'est plus dangereux que le temps perdu; une machine qui marche sans chômage et avec une grande régularité est souvent plus avantageuse que les cours d'eau, et une machine qui ne marche qu'à demi-charge, ou qui est fréquemment arrêtée, entraîne le propriétaire dans des frais et des retards que des soins légers, mais constants, auraient évités. La surveillance et l'entretien éclairé des machines sont tellement importants, que le manufacturier intelligent doit s'assurer chaque jour si son moteur est en bon état, si le service se fait régulièrement et avec attention et indiquer les objets qui pourraient avoir besoin d'une réparation immédiate et ceux dont on doit s'occuper au prochain nettoyage.

Montrons les principaux points sur lesquels doit porter cet examen, qui ne demande que quelques instants à un industriel, appelé nécessairement ailleurs par les travaux d'une administration bien conduite.

987. *De la propreté à exiger des chauffeurs.* — La première condition à exiger du chauffeur est une grande propreté, soit dans la chambre de la machine, soit sur la machine même. On n'y doit voir aucune tache de rouille, et toutes les traces de graisse doivent être essuyées chaque jour; en séchant, elles formeraient dans les ajustements, et surtout dans les grains, un cambouis épais, qui boucherait leurs lumières, et les exposerait à tourner à sec et à être rongés en quelques heures. La destruction des grains est presque toujours due à cette cause.

Lorsqu'une machine est tenue avec une propreté minutieuse, on aperçoit facilement au premier coup d'œil les avaries qui peuvent y survenir, comme l'usure des grains, le desserrement

des clavettes, le mauvais état des masticages et des étoupes, les marques que les grains de sable peuvent laisser sur les tiges des pistons, etc. Enfin l'habitude de la propreté rend les chauffeurs attentifs, et en soignant une machine dont la chambre est peinte et bien nettoyée, dont toutes les pièces sont polies et brillantes, ils ne peuvent manquer d'apercevoir et de rétablir immédiatement ce qui vient à se déranger; ils s'y attachent même : elle devient pour ainsi dire leur propriété, une partie d'eux-mêmes, et ils finissent par la soigner, la choyer autant par affection et par amour-propre, que par devoir.

La propreté de la machine réagit même sur sa dépense de combustible; puisque la condition première d'une faible consommation, c'est le bon entretien du moteur.

988. *Nettoyage de chaque semaine.* — Outre cet entretien journalier, la machine subit une fois par semaine un nettoyage général : alors le manufacturier passe en revue toutes les pièces, fait regarnir les boîtes à étoupes (783), recharger les grains usés, roder le robinet d'introduction (824), les soupapes de sûreté de la chaudière (543), celles de la pompe alimentaire (753), et celles de la pompe du puits (876); on renouvelle au besoin les cuirs, on nettoie à fond le fourneau et la chaudière, aux époques réglées, on remédie enfin à tous les défauts qu'on a remarqués dans la semaine.

Ce nettoyage doit être fait le dimanche matin. Il est bien plus facile quand la machine est encore chaude, et entraînerait une grande perte de temps si on l'ajournait au lundi.

Il faut surtout faire prendre aux chauffeurs l'habitude de la plus grande régularité, et de la plus grande ponctualité dans les diverses opérations d'entretien qu'ils font subir à leur moteur, de manière à n'en oublier aucune et à les faire aux époques qui ont été fixées d'avance.

989. *De la clôture des fenêtres et des portes.* — Les portes et fenêtres de la chambre doivent toujours être fermées avec soin, les pertes de chaleur qui ont lieu par ces ouvertures sont considérables; il faut même mettre de doubles fenêtres ou des carreaux

doubles à cette chambre, pour éviter la déperdition de chaleur due aux vitres. Le calcul suivant montrera l'importance de ces pertes.

Dans la chambre d'une machine où la température est en hiver à 30 degrés centigrades, ce qui fait une différence de 33 degrés, en ne supposant la température extérieure qu'à 5 degrés au-dessous de zéro, si la surface des vitres est de 6 mètres carrés, surface encore insuffisante pour une abondante clarté, on perd par les vitres, en vingt-quatre heures, autant de chaleur qu'il en faut pour échauffer de 33 degrés 1400 k. d'eau, ou toute la quantité de chaleur que fournissent 72 k. de vapeur ou 15 k. de houille. Cette perte, très-grave parce qu'elle est constante et inutile, peut être en partie évitée par de doubles carreaux. La température de la chambre s'élève en été à 40 ou 50 degrés, mais on la supporte sans peine, parce que c'est une chaleur humide.

990. *Précautions à prendre pour ne pas fatiguer ni déformer les pièces de la machine.* — Le chauffeur doit employer un marteau de cuivre pour enfoncer les clavettes; un marteau d'acier les écrase et les détruit en peu de temps. Il doit prendre aussi de grandes précautions pour conserver le poli et le bon état de toutes les pièces. Il doit se fabriquer des clefs à fourche pour chaque espèce d'écrou, les clefs anglaises, qui sont très-utiles à un ouvrier monteur, quand il serre des boulons une seule fois, écrasent et détruisent les angles des écrous, lorsque l'on s'en sert fréquemment.

Il doit avoir des filières et des tarauds étalonnés avec soin, pour tous les pas de vis de la machine, et qu'il conserve rangés avec ordre dans une armoire et dans la salle où sont les pièces de rechange.

Enfin, il ne doit jamais s'écarter de sa machine que pour alimenter le fourneau si celui-ci est placé au dehors, et rester toujours en surveillance, prêt à resserrer une clavette, à ralentir ou accélérer la machine ou le feu, s'ils en ont besoin; prêt surtout à parer aux accidents imprévus et à en prévenir à temps les suites.

991. *De la visite du propriétaire.* — Après ces soins généraux, voici les objets sur lesquels l'attention du chef de l'établissement doit se porter spécialement, et les symptômes auxquels il reconnaîtra, dans une visite rapide, le bon état ou le dérangement de sa machine.

992. 1° *Examen du condenseur.* — Le condenseur ne doit pas donner d'air à chaque coup de piston, ou tout au plus quelques légères bulles provenant de l'air dissous dans l'eau du puits. Ce bouillonnement d'air est facile à voir.

Nous avons indiqué le moyen de corriger ce défaut, qui provient des masticages du grand plateau, ou des boîtes à étoupes, ou de la boîte à vapeur du grand piston, ou du tuyau du condenseur, ou de la pompe à air et du piston, quand la machine est à un seul cylindre.

La température de l'eau ne doit pas dépasser 40 degrés centigrades ; il faut qu'on y plonge la main sans souffrir. La cause d'une trop grande chaleur est ou dans le robinet du condenseur, trop fermé ou engorgé, ou dans le puits et la pompe qui ne fournissent pas assez d'eau, ou dans la vapeur qui passe directement au condenseur à travers les pistons, ou dans une fente survenue aux cylindres, ou dans une communication établie à travers les masticages, entre les conduits de vapeur des boîtes, ou dans les dimensions trop faibles du condenseur.

993. 2° *De la bielle.* — En appuyant la main sur la bielle, pendant deux ou trois révolutions, et surtout aux passages supérieur et inférieur, on s'assure que l'on n'y sent aucune secousse. S'il y en a au passage supérieur, elle provient ou d'une clavette desserrée au parallélogramme, et principalement de celles des bras du grand et du petit piston, ou de celles de la tête de la bielle qui sont lâchées, ou enfin de ce qu'une des boules du balancier a pris du jeu. Quand les pistons ont du jeu sur leur tige, on entend aussi un choc au passage supérieur ; mais il est facile de juger qu'il a lieu dans les cylindres mêmes. Si la secousse se fait au passage inférieur seulement, on est sûr qu'elle est due à la manivelle, dont la clavette est desserrée ou le grain usé. Ces

secousses se montrent aussi quand les tiroirs de la machine sont mal réglés, et alors elles sont très-violentes, ou quand la commande des tiroirs est usée et a pris du jeu.

994. 3° *Des boîtes à vapeur et des tiroirs* (820). — Un peu d'expérience suffit pour juger si leur marche est bien réglée et facile, si la course est toujours la même, si la grande manivelle qui les soutient n'est pas descendue, comme cela a lieu souvent; car alors elle ferait à chaque révolution un effort sur le tiroir. Leurs boîtes à étoupes seront constamment couvertes de suif fondu, pour s'opposer à l'entrée de l'air, et il faut toujours entendre la vapeur passer vivement d'une boîte à l'autre et les coups de piston s'y couper bien nettement. Les pièces qui commandent les tiroirs doivent être tenues en parfait état, pour qu'il n'y ait pas de retard dans la distribution.

Il faut surtout prendre garde que la machine ne se dérègle en travaillant, ce qui arrive assez souvent avec des tiroirs de grandes dimensions, chargés d'une forte pression de vapeur qui les rend très-durs à conduire.

995. 4° *Du manomètre*. — On le regarde pour voir si la vapeur n'est pas à une pression trop élevée, et si la machine enlève sa charge ordinaire, à sa pression habituelle. C'est une des indications les plus utiles pour reconnaître son bon état.

996. 5° *De l'alimentation. Flotteur et pompe alimentaire*. — On s'assure que le flotteur fonctionne et que la chaudière ne se vide pas trop; on reconnaît que les soupapes de la pompe alimentaire marchent bien, en tâtant avec la main si, au moment de l'alimentation, le tuyau d'injection, qui est très-chaud quand la pompe ne marche pas, se refroidit et prend la température de l'eau alimentaire. On doit aussi entendre le choc net et bien tranché des soupapes à chaque coup de piston.

997. 6° *Des soupapes de sûreté*. — Sous aucun prétexte, elles ne doivent être surchargées; cette question doit être l'objet de la plus active surveillance pour le manufacturier: de là dépend le salut de ses ouvriers et de sa machine. Si elles laissent échapper de la vapeur, on les rode à l'émeri au premier moment

d'arrêt : ce dérangement tient à un peu de rouille ou de saleté, et surtout à des dépôts terreux emportés par la vapeur qui s'échappe du générateur. On les rode alors légèrement à sec avec une clef, en pressant leur levier à la main, pour écraser et chasser la poussière qui cause la fuite.

Nous avons dit, en parlant des soupapes de sûreté, que l'on ne devait pas les soulever dans le but de prévenir leur adhérence ; c'est un moyen sûr de les salir et d'occasionner des pertes de vapeur. On trouvera, dans les ordonnances relatives aux machines à vapeur, le développement des précautions qu'exige la conduite d'une machine à vapeur, en ce qui concerne les explosions auxquelles elles sont exposées. Nous en avons déjà parlé (tome I^{er}, page 342).

Enfin, après avoir examiné ces divers objets d'un coup d'œil, après s'être assuré que les grains de cuivre ne sont pas rongés dans le parallélogramme ou dans la bielle, que la machine est propre et fonctionne bien, le manufacturier écoutera s'il n'entend aucun choc ou mouvement inaccoutumé, aucun sifflement extraordinaire de vapeur, afin d'en rechercher la cause. C'est un avis utile à suivre, parce qu'il s'opère rarement un dérangement grave dans une machine, sans qu'il ait été annoncé d'avance par des secousses ou des bruits que l'on ne doit jamais négliger.

On doit aussi s'assurer que la consommation de houille n'augmente pas ; c'est là un caractère certain pour juger du bon fonctionnement d'un moteur. Dans une machine qui se déränge, cette consommation augmente rapidement tous les jours.

998. *Des qualités nécessaires au chauffeur.* — Quant aux chauffeurs, la conduite d'une machine ne demande de leur part qu'attention et régularité. Ce n'est pas un travail difficile ni fatigant, lorsqu'elle est entretenue avec exactitude et soin, et que tous les accidents sont immédiatement réparés ; mais il faut de l'ordre et de la suite, ce qui manque souvent aux ouvriers ; il faut cette habitude, ce besoin de penser, de vouloir et d'agir par eux-mêmes, qu'ils ne peuvent acquérir qu'en s'instruisant, qualités qui font seules les ouvriers capables, les bons contre-maitres et

les bons chauffeurs, et qui leur permettent de développer leurs talents et de se créer un rang dans la société.

Le chauffeur intelligent doit examiner sans cesse sa machine, en rechercher les défauts, les corriger sans qu'il soit nécessaire de les lui indiquer, la soigner enfin comme si elle lui appartenait. Par cette activité et cette surveillance constantes, bien plus efficaces encore que la surveillance trop rapide du propriétaire, il saura mériter la confiance de ses chefs.

Voici les soins généraux qu'une machine réclame de la part du chauffeur :

999. *Allumage du feu.* — Le premier soin du chauffeur, avant d'allumer son feu, est de vérifier si la chaudière est assez remplie d'eau ; il la brûlerait certainement s'il la chauffait à moitié vide. Pendant la nuit, avec un feu bien couvert, un grand volume d'eau est réduit en vapeur, et le niveau de l'eau baisse presque toujours ; aussi doit-on laisser le soir la chaudière très-pleine. Dès que le niveau est assez élevé pour arriver au moment où, la machine étant en activité, la pompe alimentaire enverra de l'eau dans la chaudière, on allume le feu. Quand le foyer est resté pendant la nuit chargé d'escarbilles et de poussier, il faut décroasser avec soin les barreaux, en poussant le feu sur le fond de la grille, et le ramener sur le devant ; puis on le charge de houille fraîche, à plusieurs reprises, pour ne pas étouffer le feu. Si, au contraire, le feu a été entièrement éteint, on le rallume après avoir nettoyé à fond la grille et le cendrier, et après avoir ouvert en entier le registre. Pour cela on met sur la grille, près de la porte, des copeaux, des déchets de coton ou des chiffons gras si on en a, et par-dessus du menu bois bien sec et bien flambant, et on allume. Quand le tirage du fourneau, dont on ferme la porte, a embrasé le bois, on charge celui-ci avec précaution de morceaux moyens de houille qu'on laisse s'allumer, et rechargeant la grille à plusieurs reprises de houille fraîche, en fermant à chaque fois la porte du foyer, on arrive bien vite à être en plein feu.

Si le cendrier a une bêche à eau, on la remplit préalablement.

Lorsqu'on a d'autres fourneaux à houille allumés près de là, l'allumage se fait en y prenant deux ou trois pelletées de houille embrasée, les posant sur le devant de la grille, et les couvrant légèrement de houille, que l'on augmente en épaisseur à mesure qu'elle s'allume.

L'allumage des foyers à coke des locomotives se fait en intercalant entre la grille et le coke froid des brins de fagot ou de bois résineux, et y mettant le feu par-dessous, au moyen d'un paquet de chiffons gras enflammés, que l'on présente au bout du pique-feu.

Avec les foyers des locomobiles, pour activer le tirage, il est bon de brûler de la paille ou des copeaux dans la boîte qui est au bas de la cheminée.

1000. *Du chauffage de la chaudière.* — Quand on allume le feu sous une chaudière après plusieurs jours de repos, on le fait lentement et deux heures avant le moment où il doit marcher, afin d'éviter ainsi tout accident. On ne doit ouvrir le registre de la cheminée que de la quantité reconnue nécessaire pour conduire la machine : si on l'ouvrait tout à fait, on s'exposerait à pousser le feu trop vivement, et au moins il passerait trop d'air dans le fourneau, qui se refroidirait et consommerait trop de houille.

Le temps nécessaire pour être en vapeur, varie avec le tirage du fourneau et la grandeur de la chaudière. Avec des fourneaux bien construits, il ne faut pas une heure.

1001. *Du graissage de la machine.* — Pendant que la chaudière s'échauffe, le chauffeur graisse toutes les pièces de la machine, en faisant tomber quelques gouttes d'huile dans chaque grain ou en les frottant avec de la graisse, suivant le besoin.

Pour bien huiler les grains, il ne faut pas oublier de desserrer préalablement les clavettes et de déboucher les lumières que le cambouis aurait fermées.

Les meilleures huiles sont, comme nous avons dit plus haut, celles de pied de bœuf et d'olive, parce qu'elles séchent moins que les autres. Pour les boîtes à étoupes, on emploie le suif ou la graisse animale pure, et, pour la manivelle, on mêle souvent

cette graisse avec de la mine de plomb ou du talc pulvérisés et passés au tamis de soie.

Le graissage à l'huile est si important que, dans des expériences de Wood et Stephenson, sur les frottements des axes de fer avec leurs coussinets, le nombre de révolutions que les axes pouvaient exécuter sous un effort donné se réduisaient de 238 à 37, quand on les laissait tourner quelque temps sans être graissés. L'huile de pied de bœuf est bien supérieure aux graisses.

Les robinets se graissent aujourd'hui très-avantageusement, avec une pommade de caoutchouc dissous dans l'essence de térébenthine.

Pour n'oublier aucune pièce à graisser, quand il fait cette opération sur une machine, le chauffeur doit suivre toujours le même ordre, en comptant même les parties auxquelles il donne de l'huile ou du suif. Un graissage général se fait au moins toutes les douze heures, pour les machines fixes qui travaillent jour et nuit, et il y a quelques pièces qui demandent encore des graissages plus fréquents.

1002. *De l'expulsion de l'air des cylindres.* — Quand la vapeur commence à se former, il faut ouvrir les robinets de graissage placés sur les plateaux, pour laisser échapper l'air contenu dans les cylindres, et, la manivelle étant horizontale, tenir le robinet d'introduction de la vapeur ouvert quelques minutes, afin de donner issue à l'air contenu dans la chemise et dans la chaudière; l'air des cylindres, s'il y était renfermé, prendrait en s'échauffant une tension considérable qui, en s'ajoutant à celle de la vapeur, pourrait causer des accidents et détruire au moins les masticages.

1003. *De la mise en activité de la machine.* — On ferme tous les robinets quand l'air est entièrement sorti et que la vapeur est déjà haute; et lorsqu'elle s'est enfin élevée à la tension nécessaire pour enlever la charge de la machine, toutes les pièces ayant été préalablement graissées avec soin, on ouvre le robinet d'introduction et celui du condenseur, on pousse en même temps la machine à l'aide du volant. Lorsqu'elle est froide, elle a quelque difficulté à se mettre en mouvement, parce que le vide n'est pas

encore fait dans le condenseur, quand la machine condense. Avec les machines sans condensation, il faut que le piston et le cylindre soient bien échauffés, et que la vapeur arrive avec une forte pression au piston, pour qu'elle marche rondement, et elle ne prend toute sa puissance et une marche assurée qu'après quelques révolutions.

Les machines à condensation deviennent quelquefois difficiles à mettre en marche, lorsque la boîte à étoupes du condenseur n'est plus assez garnie, et qu'elle laisse rentrer l'air, et quand le vide ne s'y peut pas produire, aussi longtemps que cette boîte n'est pas couverte d'eau. On jette un ou deux seaux d'eau dans le condenseur, et la pompe travaille immédiatement (857).

Dans les fortes machines, on conserve, à la circonférence du volant, des trous où l'on peut engager des leviers de fer, pour le pousser au besoin. On n'oubliera pas, pour rendre le départ plus facile, de placer d'avance la manivelle un peu au delà de son passage supérieur ou inférieur, afin que la vapeur entre librement dessus ou dessous les pistons, pour les presser, et afin que le balancier pousse la manivelle avec plus d'avantage que si elle était tout à fait verticale.

Avec les machines à haute pression, on laisse aussi le cylindre s'échauffer lentement par une introduction faible et graduée de vapeur, afin d'éviter toute rupture.

1004. *Du graissage des pistons.* — Lorsque la machine marche, on serre avec un maillet toutes les clavettes, et avec une clef les boîtes à étoupes, et on graisse les pistons. On a du suif fondu dans une burette de fer-blanc, qui reste toujours sur le cylindre. Si la machine est à condensation, on en remplit l'entonnoir des robinets placés sur les plateaux du grand cylindre ou sur le cylindre unique; puis saisissant le moment où les pistons remontent, on ouvre un instant le robinet, en ayant soin de le refermer avant que le piston commence à descendre. Le vide qui s'opère dans le cylindre aspire immédiatement le suif fondu qui graisse les pistons. Pour éviter la petite difficulté que présente cette opération, on se sert de robinets doubles que l'on

remplit de suif; puis, fermant le robinet du haut, et ouvrant celui du bas, on graisse sans peine et à tout moment indifféremment.

Si l'on ouvrait un des robinets pendant que les pistons descendent, et que la vapeur arrive dessus, elle chasserait en l'air le suif fondu, et l'on pourrait être brûlé. Avec les machines sans condensation il faut graisser le moteur arrêté; ordinairement on graisse avant de mettre en marche. Quelques mécaniciens pensent qu'il vaut mieux graisser les pistons le soir, pour que la graisse reste dans le cylindre.

Notre avis est qu'il faut graisser modérément les pistons pour ne les pas encrasser. Avec les segments de fonte et un cylindre bien alésé, on peut sans danger graisser très-peu. Quelques chauffeurs même ne graissent pas du tout le piston; mais c'est une méthode dangereuse.

1005. *Présence du chauffeur à sa machine.* — Lorsque la machine est en activité, le chauffeur ne la doit quitter que le temps nécessaire à l'entretien du feu, s'il s'en éloignait inutilement, une clavette ou une vis qui se desserrerait et tomberait sans être aperçue ne serait pas sans danger : et en tout cas, il doit être prêt à arrêter la machine s'il arrive, soit dans les ateliers, soit dans la machine, un accident imprévu. Pendant les grandes chaleurs de l'été, il est difficile d'y rester constamment; mais il doit au moins la visiter souvent et s'en tenir à portée.

C'est donc une bonne disposition que de séparer la chambre des fourneaux de celle de la machine par des portes vitrées, qui rendent la surveillance du chauffeur facile et constante.

1006. *La machine fermée aux ouvriers.* — Nous conseillons aux industriels de ne pas laisser les autres ouvriers prendre leurs repas, ou se chauffer dans la machine. Une imprudence de leur part serait dangereuse pour eux ou pour la machine, et, à part ce danger, c'est une source constante de malpropreté et de désordre.

1007. *Cloche d'alarme.* — Une autre précaution très-utile est d'avoir dans les ateliers une sonnette ou une petite cloche

d'alarme, dont le cordon part de la chambre de la machine à vapeur, afin que le chauffeur puisse avertir quelques instants d'avance, du moment où il va mettre en marche, ou arrêter la machine. C'est un bon moyen d'éviter les accidents; et il n'est pas sans utilité de placer aussi dans la chambre de la machine une sonnette dont le cordon est dans l'atelier, pour faire arrêter rapidement la machine en cas d'accidents arrivés, soit aux ouvriers, soit aux outils employés. Répétons ici que, dans un cas urgent, on arrête presque instantanément une machine à condensation, en fermant le robinet régulateur et ouvrant les robinets de graissage des plateaux. L'air qui pénètre dans les cylindres arrête immédiatement les pistons, par le poids qu'il leur oppose.

Quand la machine ne condense pas, la vapeur qui s'échappe rapidement par le robinet et la pression atmosphérique qui agit bientôt derrière le piston l'arrêtent aussi rapidement.

Lorsqu'une clavette se desserre souvent, le chauffeur se gardera de l'enfoncer à coups de maillet; elle s'userait et se rongerait de suite. Le seul moyen sûr et prompt de la maintenir est d'en ouvrir les branches un peu plus à fond.

1008. *De la surveillance du chauffeur.*—L'attention du chauffeur doit se porter à la fois sur deux objets principaux, indispensables à la conduite régulière de la machine: c'est 1° le flotteur ou le tube de niveau d'eau qui le guideront pour faire marcher ou arrêter la pompe alimentaire, à propos et avec régularité; en alimentant trop à la fois, comme nous l'avons dit, il refroidit la chaudière et diminue la force de la vapeur (746); 2° le manomètre qui le dirige dans la conduite du feu, sur laquelle nous allons entrer dans des détails plus étendus.

1009. *De la conduite du feu.* — Le principal talent d'un bon chauffeur est d'entretenir un feu vif et égal, sans engorgements de grille et sans trop pousser le feu; il fait alors produire au combustible le plus grand effet possible; et en même temps il soutient régulièrement la marche de sa machine. Un chauffeur intelligent peut donner sur un mauvais chauffeur une économie de combustible qui s'élèvera à 15 ou 20 pour cent.

Il ne faut jamais couvrir la grille d'une couche de houille qui ait plus de 0^m,12 d'épaisseur, également répandue sur toute la surface de la grille, sans y laisser des vides, par lesquels l'air puisse passer sans être brûlé. Si la couche de houille est trop faible, l'air qui la traverse n'est pas suffisamment brûlé : si elle est au contraire trop épaisse, l'air ne pénètre plus au centre de la masse brûlante, et les parties qui y sont placées, étant seulement distillées, donnent une fumée noire, une perte notable de houille, et surtout un mauvais emploi du combustible. Il en est de même si l'on se sert de morceaux beaucoup plus gros que le poing ; ils ne brûlent qu'à la surface, et l'intérieur se distille, avec un grand développement de fumée et une mauvaise production de vapeur.

Un chauffeur ne doit non plus jamais charger son feu d'une trop grande quantité de houille à la fois. Le résultat serait encore le même ; le feu se trouverait tout à coup refroidi ; la combustion deviendrait lente, incomplète ; le fourneau donnerait beaucoup de fumée ; et lorsque enfin cette masse s'embraserait à la fois, le feu devenu trop violent fatiguerait les bouilleurs, ou ferait monter la vapeur à une tension très-haute, et imprimerait une vitesse irrégulière à la machine, outre une perte forcée de vapeur pour ramener la pression à sa règle.

Quand la houille est maigre et colle peu, on doit charger plus fortement la grille et remuer moins souvent le combustible au ringard, pour ne pas le faire passer à travers la grille ; il faut aussi brûler avec soin tout ce qui tombe de bon dans le cendrier. En un mot, un bon chauffeur doit conduire son feu en raison de la nature du combustible qu'on lui donne, pour en tirer le meilleur parti possible. Nous avons dit (tome I^{er}, page 205), en parlant des houilles maigres, qu'on en obtenait aujourd'hui presque autant d'effet que des bonnes houilles, en rentrant dans des conditions analogues à celle de l'emploi du coke, qui ne brûle bien qu'avec une grande épaisseur (tom. I^{er}, page 111).

1010. *Proportions des charges.* — Les chauffeurs sont toujours disposés à remplir le fourneau d'une grande quantité de houille, et à l'employer en gros morceaux, pour éviter la peine de la briser,

et pour rester plus longtemps tranquilles; cependant le seul moyen d'avoir un feu vif et régulier est de charger souvent, mais seulement une petite quantité de houille, que l'on répand également sur la couche embrasée; elle s'allume alors avec facilité, sans ralentir la combustion ni refroidir la chaudière. Suivant Tredgold, la grille doit porter à la fois une quantité de houille égale à 3 ou 4 fois celle de chaque charge.

Dans les expériences faites par M. Combes sur la question de combustion de la fumée, on brûlait dans le fourneau qu'il avait fait construire jusqu'à 92 k. 76 par heure. Le chauffeur bien dirigé chargeait à la fois deux pelées de houille pesant ensemble 1 k. 84 et faisait 54 charges par heure. Si les charges étaient aussi multipliées, c'est que le but à atteindre était la combustion la plus complète de la fumée, ce que l'on ne peut obtenir qu'en laissant arriver beaucoup d'air sur le combustible. Quand on conduit le feu de manière à obtenir la plus grande économie possible de combustible, en laissant un peu de fumée sortir par la cheminée, on ne fait pas plus de 8 ou 10 charges par heure, c'est-à-dire toutes les six ou sept minutes. Le fourneau est, sans cela, trop refroidi par l'air qui entre sur la grille à chaque charge.

Il ne faut pas surtout laisser tomber le feu, et on doit dégrasser à fond la grille, au moins quatre fois par jour, avec de bonne houille, et plus si ce sont des charbons qui encrassent beaucoup, comme ceux d'Écosse. Il y aurait cependant de l'inconvénient à multiplier trop les charges, la porte du foyer restant presque constamment ouverte, l'air qui s'y introduirait changerait le tirage du fourneau, le refroidirait, le ferait fumer, et pourrait même détruire les bouilleurs, surtout lorsque la chaudière travaille à haute pression. On obtiendrait une économie, en fermant alors en partie le registre de la cheminée, quand on ouvre la porte du fourneau, pour arrêter le courant d'air; mais ce sont des soins trop minutieux pour être conseillés.

MM. Roman et C^e ont trouvé que de petites charges de bois, jetées de cinq en cinq minutes, donnent le résultat le plus avantageux : nous pensons qu'avec la houille on en obtiendra d'aussi

bons, en chargeant de dix en dix minutes, ce qui tiendra la porte moins souvent ouverte. Avec un bon fourneau, vingt-cinq ou trente minutes de feu suffisent le matin pour la mise en marche de la machine. On a soin, afin de l'enlever rondement, de monter la vapeur à une demi-atmosphère de plus qu'il n'est nécessaire pour le travail de la journée; au premier moment de marche, la vapeur tombe très-rapidement.

1011. *Décrassement de la grille.* — Il faut aussi retourner de temps en temps la houille embrasée avec un ringard, et retirer les scories qui se fondent, engorgent la grille, empêchent l'air de la traverser, et la font en outre rougir et brûler. Quand le feu est bien soigné, on doit, en regardant sous la grille, n'apercevoir aucun endroit bouché ou noirci par les crasses; les barreaux alors, rafraîchis constamment par un courant d'air rapide, ne peuvent pas rougir ni brûler, comme on le voit quelquefois, en peu de temps (tome I^{er}, pag. 95); ils se conservent, au contraire, intacts pendant plusieurs années. Un autre genre de soins contribue aussi efficacement à leur conservation, c'est de ne jamais laisser les cendres s'accumuler dans le cendrier. On les retire à mesure, on les tamise à la claie, et on rejette dans le fourneau tout le coke qu'elles retiennent et qui est assez abondant, à moins que la houille ne soit très-grasse.

De la marche des fourneaux.

1012. *Influence de la saison.*—L'allure des fourneaux éprouve aussi des variations indépendantes du chauffeur, et qui influent sur la consommation du combustible. Ainsi, dans une même saison, avec un feu bien conduit, la différence d'un temps de pluie à un temps sec donne un excès de dépense de 4 ou 5 p. 100. Les vents, surtout les vents du sud, et la neige gênent beaucoup le tirage, et portent cet excès de dépense à 8 ou 10 p. 100. La différence de l'hiver à l'été est aussi un excès de consommation régulier et égal à l'augmentation momentanée que donnent les vents humides et la neige.

Dans des expériences faites sur six locomotives et citées par Wood, les locomotives traînaient, avec une vitesse de 8,046 mètres à l'heure, terme moyen, en été 61 tonnes, et en hiver 50 $\frac{1}{3}$ tonnes de marchandises. La différence est ici de 17 p. 100; mais une portion de cette différence doit être attribuée à ce que les rails mouillés et salis opposent plus de résistance au remorqueur. Ainsi on peut appliquer 10 p. 100 à la différence de travail des foyers de l'été à l'hiver.

1013. *Nécessité de se rendre compte de la dépense du combustible.* — Dans l'appréciation de la consommation d'un fourneau ou d'une machine, on doit donc faire attention aux observations qui précèdent, et qui sont le résultat des relevés journaliers de dépense de la machine de M. Crepet, de Rouen, pendant dix années consécutives. Il est très-important de se rendre un compte exact et détaillé de cette dépense; car dans les variations que nous avons montrées s'élever jusqu'à 10 p. 100, nous avons supposé la machine bien entretenue et maintenue à sa vitesse de règle. Combien les pertes ne seraient-elles pas plus graves si la machine marchait irrégulièrement, ou se trouvait en mauvais état, sans que le propriétaire eût des moyens assurés de s'en apercevoir!

Nous avons dit qu'un bon compteur servait de règle sûre à la vitesse et au travail journalier de la machine; quant à son entretien et à sa conduite, dont la consommation de combustible est un symptôme immédiat, le seul moyen d'apprécier cette dépense de toutes les minutes est d'en tenir compte exactement.

1014. *Comptabilité du combustible.* — Le meilleur système est de livrer jour par jour, à la mesure, la quantité de houille dont le chauffeur a besoin, de manière à le maintenir forcément à une allure régulière, et à en reconnaître immédiatement les variations. Il n'est pas de chauffeur, si négligent qu'il soit, qui, ainsi rationné, s'expose à en sortir et ne fasse des efforts suivis, n'économise son combustible, n'emploie toutes ses escarbilles, pour éviter de redemander dans la soirée un supplément de houille: s'il puise au contraire sans contrôle à un tas considérable de combustible, il le prodigue infailliblement.

1015. *Feuilles de semaine.* — Un manufacturier éclairé doit se faire donner par son directeur des *feuilles de semaine*, là sont relevées, dans plusieurs colonnes, les diverses *natures de travail* fait chaque jour, les mains d'œuvre, les frais ordinaires et extraordinaires d'entretien de chaque outil, et ceux de la machine à vapeur par nature, le temps réel de son travail, et sa consommation de houille par jour; enfin tous les éléments d'un bilan hebdomadaire. Si ce bilan approximatif est impossible pour chaque semaine, on doit le faire tous les mois. En comparant entre eux ces tableaux, il est facile de reconnaître les causes des variations de marche de la machine à vapeur. Puis *il faut ouvrir un compte à chaque nature de frais, afin d'obtenir, d'année en année, des observations comparatives.* Ce sont des résultats très-importants et qui sont entièrement oubliés dans beaucoup d'usines.

1016. *Surveillance des machines dans le Cornouailles.* — Dans le Cornouailles, en Angleterre, où il existe un grand nombre de machines très-puissantes, presque toutes employées à pomper les eaux des mines, des ingénieurs distingués sont chargés de la surveillance, de l'entretien et de l'amélioration de toutes leurs machines. Combien un semblable travail, renouvelé tous les ans, ne doit-il pas donner de résultats utiles et économiques, et amener de perfectionnements, soit dans les machines, soit dans les constructions de fourneaux. On publie depuis longtemps un rapport annuel général sur l'état de ces machines, leur dépense, leur consommation et leur travail. Bien que ces rapports nous paraissent présenter des erreurs graves, cependant ils sont fort utiles. Nous n'avons jamais compris pourquoi les manufacturiers de la Seine-Inférieure, par exemple, où plus de 500 machines à vapeur sont en activité, n'ont pas chargé en commun de cette surveillance un ingénieur spécial. Quel est cependant le manufacturier éclairé qui ne donnerait pas 100 fr. par an pour avoir ainsi à sa disposition des conseils comparatifs?

1017. *Service que peut faire un chauffeur.* — Ajoutons qu'un

chauffeur ordinaire peut faire, pendant 12 heures sur 24, le service complet de 2 fourneaux de 30 ou 40 chevaux; et, s'il a 3 fourneaux à soigner, il ne faut pas lui demander plus de 8 heures de travail par jour.

1018. *Nettoyage du cendrier.*— Si l'on néglige cette précaution, cet amas de cendres amassées, dans lequel il reste du coke qui brûle lentement, gêne le tirage du fourneau; il échauffe en outre l'air, comme nous l'avons déjà dit; ce qui nuit à la combustion, rougit et détruit promptement les barreaux de grille. On a vu précédemment que plus un fourneau a de tirage, moins promptement se brûlent les barreaux. En enlevant fréquemment les cendres, il n'est pas aussi nécessaire d'avoir dans le cendrier une bêche d'eau, qui a surtout pour but d'éteindre la houille tombée de la grille et d'empêcher le cendrier de s'échauffer et les barreaux de grille de rougir par l'action des escarbilles embrasées qui s'y amassent et des parois du cendrier qui s'échauffent. D'ailleurs, la petite quantité de vapeur d'eau qui se développe ne nous paraît pas avoir sur la marche du feu une action bien importante.

Au reste, la qualité de la houille doit régler la conduite du feu; la houille est maigre et ne colle pas, on peut, sans inconvénient, en charger sur la grille une quantité plus grande que si elle est grasse, et l'on n'a pas besoin de la retourner aussi souvent avec le ringard; la houille grasse, se gonflant et formant une croûte qui s'embrace tout à coup, demande, comme le bois, à être chargée par petites quantités et plus fréquemment, afin d'éviter les coups de feu irréguliers et subits; dans tous les cas, comme nous l'avons déjà dit, il faut passer les cendres à la claie, pour rejeter sur le feu, par petites portions, les escarbilles mouillées d'eau, ou pour en charger la grille la nuit, quand on a intérêt à conserver du feu dans le fourneau, ou à maintenir la chaudière en vapeur.

1019. *Des moyens d'éviter la fumée, par la conduite seule des fourneaux.* — Le feu doit être très-régulier; la régularité de la marche d'une machine, outre qu'elle est indispensable au travail

exécuté, est le meilleur moyen de ne la pas fatiguer, et de n'avoir pas besoin de coups de feu trop violents, après avoir laissé la vapeur tomber trop bas. Il doit être très-vif, parce que plus la combustion est active et rapide, plus on obtient de vapeur avec la même quantité de combustible (1); or, pour entretenir un feu vif et régulier, il faut charger le fourneau souvent avec de la houille en petits morceaux, tenir la grille très-propre et le cendrier toujours vide. Avec ces soins, un fourneau bien construit, et dont on ne laissera pas les carneaux et la cheminée se remplir de cendres et de suie, même privé de tout système fumivore, ne donnera jamais de fumée, excepté dans les moments où l'on ouvrira la porte pour charger la grille, et quelquefois quand l'air est lourd et chargé de pluie, parce que alors les fourneaux sont beaucoup plus disposés à fumer, à cause de la diminution d'activité de la combustion. De plus, en ne chargeant la houille fraîche que sur le devant du fourneau, pour qu'elle ait le temps de s'échauffer et de s'allumer, et en repoussant préalablement sur le fond de la grille, la houille déjà embrasée; en prenant enfin rigoureusement toutes les précautions que nous avons indiquées, nous pouvons garantir qu'on évitera toute fumée, sans appareil fumivore, excepté pendant une demi-minute au moment de chaque charge. Avec des soins plus grands encore, le chauffeur réussirait même à éviter cette fumée; par cette méthode, la fumée de la houille fraîche se brûle en passant sur toute la grille enflammée.

Ce sont les résultats auxquels M. Combes est arrivé dans son travail sur la fumée.

Le matin, quand le fourneau et la chaudière sont plus froids, il y a toujours de la fumée, parce que la combustion est moins complète.

1020. *Conduite du registre.* — C'est avec le registre seul de la cheminée qu'un bon chauffeur doit diriger et régler son feu, et

(1) Plus la combustion est complète, moins la flamme est longue, et plus l'action du feu s'utilise entièrement sur la surface directe de chauffe, qui est de beaucoup la plus avantageuse.

jamais, comme nous l'avons dit, en ouvrant la porte du foyer. Pour diminuer le tirage, il peut aussi fermer la porte du cendrier, s'il en existe une, quand il arrête le feu pour quelque temps, sans oublier cependant de fermer le registre; car nous ne pensons pas qu'en aucun cas la fermeture du cendrier puisse suppléer à celle de la cheminée. Il s'établit toujours des doubles courants d'air dans les carneaux, surtout lorsqu'ils sont larges. Il est également dangereux de retirer à la fois tout le feu du fourneau, à moins d'accident grave, et, dans ce cas, il faut fermer immédiatement la porte, le cendrier et le registre.

Quand il survient, par exemple, un accident qui menace la chaudière d'une explosion, comme lorsque l'eau s'est trop abaissée et que l'on peut craindre que les parois ne soient rougies, le chauffeur doit de suite jeter son feu à bas (tome I^{er}, page 345); le moyen le plus rapide est de faire tomber les barreaux de grille dans le cendrier, avec tout le feu qui les couvre, et de l'étouffer là, parce que la chaudière n'a pas à craindre ainsi des courants d'air trop brusques.

Le chauffeur doit toujours tenir son registre fermé, autant que le permet le tirage nécessaire au fourneau. Il ne faut pas croire qu'en fermant au quart ou à moitié un registre, on diminue d'un quart ou de moitié le tirage, la quantité d'air qui passe en un temps donné, et par conséquent la quantité de combustible brûlé. L'interposition d'une lame mince ne diminue que très-peu le tirage, jusqu'à plus de moitié de la section du passage. M. Daubuisson a reconnu, dans la distribution d'eau de Toulouse, que la fermeture à moitié d'un robinet de vanne ne diminuait pas sensiblement la dépense d'eau, et que cette réduction de dépense commençait seulement au delà. Il faut donc fermer le registre jusqu'au point où le tirage souffrirait.

M. Farcot conduit ses fourneaux à bouilleurs latéraux à *feu dormant*: pour des chaudières de 50 chevaux, le registre qui n'a pas plus de 0^m,50 de côté est ouvert seulement de 6 ou 8 centimètres de hauteur; les carneaux et la grille ont, par exemple, une très-grande surface.

1021. *Des moyens d'arrêter l'excès de tension de la vapeur.* — Lorsque, pendant le travail, la vapeur s'élève à une tension trop haute, il faut fermer le registre et alimenter fortement la chaudière. L'eau froide que l'on y envoie maîtrise en un instant cette augmentation de pression; ordinairement la vapeur monte ainsi, quand on arrête la machine pour quelque accident ou pendant les repas des ouvriers. Il faut alors diminuer la charge des soupapes de sûreté, en rapprochant leurs poids, fermer le registre, et bientôt la tension devient stationnaire : les soupapes débitant à mesure toute la vapeur qui se produit, aucun danger n'est plus à craindre.

1022. *Des précautions à prendre en arrêtant la machine.* — Quand on veut arrêter la machine, on ferme le registre pour interrompre le courant d'air; on laisse encrasser la grille, et le feu tomber quelque temps d'avance; on consomme enfin toute la vapeur formée; ou, si la machine s'arrête avant que cette vapeur soit entièrement consommée, on en dégage l'excédant, au moyen du robinet de sûreté : lorsqu'un fourneau est très-chaud, il produit encore une assez grande quantité de vapeur longtemps après que le feu est éteint et la machine arrêtée, cette quantité s'élève à près de 200 k. dans une chaudière de 20 chevaux; le chauffeur doit y faire attention.

C'est donc une pratique assez délicate que de couvrir le feu de cendres ou de houille mouillée, pour le retrouver quelques heures après; le registre ne ferme jamais assez bien pour s'opposer complètement à une combustion lente et à une nouvelle formation de vapeur. Nous connaissons des manufacturiers qui permettaient cette pratique à leurs chauffeurs, et qui ont été réveillés la nuit par des sifflements de la vapeur à travers les soupapes de sûreté et les masticages de leur chaudière : le registre avait été oublié ou mal fermé, et le feu s'était rallumé. On sent quels accidents peut entraîner un pareil oubli de la part des chauffeurs.

1023. *Régularité de la pression de la vapeur.* — En entretenant un feu régulier et alimentant assez fréquemment la chaudière, il est facile de soutenir la vapeur au même degré, et cette pression

doit être telle, que l'on n'ouvre pas complètement le robinet régulateur pour donner à la machine sa vitesse de règle : en tenant le robinet un peu fermé, on lui donne à volonté plus d'ouverture, afin de maintenir la vitesse de la machine, si la vapeur baissait un moment, et on a le temps de pousser le feu, pour la ramener à sa tension ordinaire.

On ne doit pas non plus ouvrir en entier le registre de la cheminée, mais se réserver cette ressource pour activer au besoin le feu.

1024. *Mesure de la qualité des fourneaux de machines à vapeur par l'eau de condensation.* — Pour s'assurer qu'un fourneau est bien construit et donne un produit avantageux en vapeur, et pour essayer la qualité de la houille employée, il faut, si la machine est à condensation, peser la quantité de houille qu'il brûle en un jour quand la machine marche régulièrement sous sa charge habituelle, et mesurer ou peser le volume d'eau qui s'écoule du condenseur pendant deux ou trois minutes, en ayant soin de recommencer cet essai plusieurs fois dans la journée. Pour en calculer les résultats, on observe en même temps la température de l'eau du puits et celle du condenseur, en la prenant dans son chapeau même, où elle n'a pas éprouvé de refroidissement. Admettons les résultats suivants, pour une machine de 20 chevaux à deux cylindres et une chaudière à bouilleurs :

Houille brûlée en une heure moyennement,	kil. 62
Température de l'eau du puits,	12° centig.
Température moyenne de l'eau du condenseur,	39° centig.
Quantité d'eau écoulée en trois minutes,	kil. 373

L'élévation de température qu'a reçue l'eau de condensation sera de 27° ou 27 calories par k. d'eau, et 373 k. \times 27 calories = 10,071 calories en 3 minutes, ou 201,420 calories en une heure, qui, divisées par 650 calories (correspondant à 1 k. de vapeur), donneront 310 k. de vapeur par heure.

$\frac{310}{62} = 5$ k. de vapeur pour 1 k. de houille. Avec une chau-

dière à haute pression, c'est un résultat que l'on obtient souvent (note 9).

1025. *Essai des fourneaux à haute pression et sans condensation.*

— Si la machine ne condense pas, il faut mesurer exactement le volume d'eau introduit dans la chaudière, soit pendant une journée, soit pendant quelques heures, par la pompe alimentaire, qui la puise dans une bêche, que l'on jaugera avec certitude.

Si la chaudière est alimentée par un cylindre de retour d'eau, qui est toujours muni de son tube de niveau en cristal, on marque, avec une ficelle rouge, une hauteur fixe sur le tube de cristal, hauteur à laquelle le cylindre de retour d'eau est aux trois quarts plein, en prenant seulement les côtés intérieurs parfaitement exacts du cylindre, jusqu'au niveau marqué par la ficelle, ce qui est facile; on calcule le volume d'eau réel que donne un cylindre rempli jusqu'à la ficelle. On observe ensuite le nombre de cylindrées d'eau introduites dans la chaudière, pendant une ou plusieurs journées, en donnant les plus grands soins pour qu'avant d'envoyer l'eau à la chaudière, le niveau dans le cylindre soit ramené rigoureusement au plan marqué par la ficelle rouge.

On obtient ainsi des résultats qui sont d'une grande exactitude et qui ne présentent pas de difficultés d'observation.

1026. *De la vitesse des machines à vapeur.* — Le chauffeur doit donner beaucoup d'attention à un point qui le guidera dans la conduite régulière de la machine; c'est sa vitesse moyenne. La parfaite régularité de marche intéresse évidemment le manufacturier; dans les ateliers où les métiers exigent une vitesse déterminée, et calculée d'après celle que doit conserver le moteur, si cette dernière varie, celle des outils variera, et la qualité du travail en souffrira: comme cela a lieu dans les filatures et dans les ateliers où le mouvement des outils peut, sans inconvénient pour la qualité de l'ouvrage, varier dans des limites plus étendues: il n'en résulte pas moins que, si la machine se ralentit, la quantité de travail fait diminuer, ce qui produit une grande perte; si elle s'accélère, au contraire, trop fortement, on court des chances

d'accidents, on expose aussi les outils qu'elle conduit. La machine est, en effet, calculée d'avance pour la vitesse qui donne le maximum d'effet utile.

Le manufacturier doit donc connaître ce qu'on peut nommer *la vitesse de régime* à laquelle sa machine doit constamment marcher, celle pour laquelle elle a été réglée, et tous les mouvements combinés, celle en un mot que l'expérience a montrée être la plus avantageuse au développement maximum de la puissance mécanique de la vapeur.

1027. *Vitesse des pistons des machines à vapeur.* — La vitesse la plus avantageuse à donner à la vapeur, c'est-à-dire aux pistons qui reçoivent son action, est, selon les meilleurs auteurs, de 1 mètre à 1^m,30 par seconde, comme le montrent la théorie et la pratique des plus habiles constructeurs.

Par conséquent, plus la course des pistons est petite, plus le nombre de coups qu'ils donnent est grand.

Il est facile de calculer, d'après ces résultats, la vitesse de régime à donner à toutes les machines à vapeur, lorsque l'on connaît la longueur de leur manivelle. On fera seulement attention qu'il vaut mieux se maintenir au-dessous qu'au-dessus de cette vitesse, surtout dans les grandes machines, et, à plus forte raison, dans celles qui sont très-chargées.

Il y a plusieurs avantages à construire des machines en calculant sur des vitesses un peu faibles; d'abord les pièces de la machine fatiguent moins à des vitesses moindres; puis, quand on a besoin de faire face à un travail plus grand, en augmentant la vitesse de la machine, on lui fait produire un travail beaucoup plus grand.

1028. *Vitesse de régime des machines à vapeur.* — Le nombre de coups de piston que doivent donner les machines à basse et à moyenne et à haute pression, les plus fréquemment employées, est à peu près celui-ci :

Machine de	8 chevaux,	30 coups de piston.
Id.	10 id.	28 id.
Id.	12 id.	27 id.

Machinc de	16 chevaux ,	25 coups de piston.
Id.	20 id.	22 id.
Id.	25 à 40 id.	22 id.
Id.	50 à 80 id.	20 id.
Id.	100 et au-dessus, de 16 à 18	id.

En tout cas, en mesurant la longueur de la manivelle, il est toujours facile de calculer le nombre de révolutions qui donnera au piston sa vitesse de 1 mètr. ou 1^m,30 par seconde.

1029. *Des machines à vapeur à grande vitesse.* — On fait aujourd'hui un assez grand nombre de machines auxquelles on donne des vitesses de 120 et 150 coups par minute, dans le but d'avoir des moteurs à vapeur qui coûtent beaucoup moins cher que les machines ordinaires.

Mais ces vitesses excessives ont de grands défauts : d'abord l'usure rapide des cylindres et des pistons, ensuite surtout une consommation énorme d'huile, qu'il faut faire couler presque sans interruption sur les guides de la tige du piston et sur les boutons de la manivelle.

Nous croyons qu'en dehors du service spécial du *petit cheval* et des locomotives, les petites machines à grande vitesse doivent être repoussées par les industriels, et que les machines qui ne dépassent pas 60 tours, dans les petites forces, doivent être toujours préférées.

1030. *Du métronome.*—Pour que le chauffeur puisse régler la marche de sa machine d'après une vitesse déterminée d'avance, il ne faut pas se fier à l'expérience et à l'habitude; on laisse souvent ralentir par degrés cette vitesse, et l'on ne peut s'en apercevoir si l'on n'a pas une mesure invariable qui serve de point de comparaison, et rectifie l'erreur à laquelle l'oreille s'accoutume vite; nous avons dit qu'il faut un compteur à une machine. On peut aussi placer dans la chambre un métronome, instrument qui devrait se trouver auprès de tous les moteurs auxquels une grande régularité est nécessaire.

Rien de plus simple que la construction de cet instrument : c'est une planche de 1^m,80 de longueur environ, devant laquelle oscille une balle de plomb suspendue à un fil de soie. On règle

la longueur de ce fil, soit en le fixant à un petit goujon mobile, en fer, sur lequel il se roule ; soit en passant le fil qui soutient le petit poids oscillant dans deux trous percés sur la longueur du goujon, de manière qu'il soit suspendu par les deux bouts. Pour les empêcher de se tordre, on écarte les deux trous de deux ou trois centimètres. On met aux deux extrémités de la soie des balles de plomb, pour équilibrer le poids oscillant, de sorte qu'en élevant les balles le poids descend, et réciproquement. On donne ainsi au fil oscillant une longueur calculée d'avance, suivant le nombre d'oscillations que l'on veut qu'il fasse en une minute.

On trace sur la planche diverses longueurs que nous donnons dans la table insérée (premier volume, page 406) sous le n° 8, toutes prises à partir du point de suspension : ce sont les longueurs du pendule qui bat à Paris le nombre correspondant de coups en une minute. On met le poids au niveau du nombre de coups qu'il doit donner, et, en le faisant osciller, on compare facilement sa vitesse avec celle de la machine, parce que, quelque faible que soit la différence de ces vitesses, dès qu'il en existe une, au bout de 12, 15 ou 20 oscillations, le pendule est en avance ou en retard sur la machine.

1031. *Du compteur.*— Les manufacturiers expérimentés établissent dans leur atelier un compteur qui donne le nombre de révolutions de la machine, la comparaison directe de son travail réel avec une horloge, et indique, à chaque heure du jour, si la machine est en retard ou en avance sur l'horloge. Le chauffeur est ainsi forcé de regagner dans l'heure suivante ce qu'il a perdu pendant l'heure précédente, et sa marche est réglée sans qu'elle puisse varier.

Avec un chauffeur attentif, une machine bien conduite ne doit pas, à la fin de la journée, avoir perdu plus de 5 ou 6 minutes sur l'horloge.

1032. *Graissage.*—On graisse les machines à vapeur deux fois par vingt-quatre heures. Cette opération se fait en arrêtant la machine, en ayant soin de laisser la manivelle en haut. Pour graisser la manivelle, on desserre la clavette, on retire le grain

de cuivre supérieur, on le couvre de suif ou de graisse animale fondu, mêlée, si l'on veut, de plombagine passée au tamis de soie; on en frotte également le prisonnier de fer; on remet le tout en place et on resserre la clavette; on fait ensuite couler quelques gouttes d'huile d'olive ou de pied de bœuf dans les lumières de tous les grains de bronze du parallélogramme, du balancier, de la bielle, des arbres de couche, etc., etc., et partout où il y a des frottements, sans oublier de desserrer les clavettes et de déboucher les lumières, pour que l'huile puisse pénétrer sur les tourillons, et de ne pas les laisser frotter à sec.

Au reste, la conduite journalière d'une machine et son entretien ne présentent pas de grandes difficultés et n'exigent pas un long apprentissage; le talent de chauffeur n'est pas difficile à trouver. Il faut peu de temps pour former un chauffeur ordinaire: un ouvrier qui sait travailler le fer, pourvu qu'il ait un peu d'intelligence, d'activité et de soin, est promptement au courant de ce travail, si le propriétaire de l'établissement peut diriger lui-même la machine, en reconnaître et en corriger les accidents les plus sérieux. C'est ce but que nous nous sommes proposé d'atteindre.

Nous avons dit, en parlant des locomobiles (624), que nous préférons les chauffeurs formés par nous, et pris parmi les manœuvres, aux chauffeurs qui en font leur état, surtout à ceux qui ont vieilli dans le métier.

Ce qui est rare, c'est un chauffeur capable, par l'activité et la tenue de son esprit et par son expérience pratique, de conduire une machine à vapeur seul et sans aucune surveillance, de deviner les accidents qu'il n'a pas encore éprouvés, et d'en trouver le remède, d'entretenir enfin sa machine, de lui faire exécuter un long travail sans la fatiguer, et avec autant d'attention et d'intérêt qu'en pourrait mettre le propriétaire lui-même. De tels chauffeurs sont peu communs, et nous pouvons ajouter que de tels hommes sont rares aussi dans toutes les carrières, et même à des degrés d'instruction beaucoup plus élevés.

De la pose des machines à vapeur.

1033. *Nécessité des soins les plus grands dans la pose d'une machine.* — On nous a reproché de n'avoir pas parlé de la pose des machines, dans l'ordre rationnel, avant de parler de leur marche; mais, pour bien comprendre cette pose, il est nécessaire d'en avoir étudié toutes les pièces.

Bien que la pose des machines soit l'affaire spéciale des mécaniciens, et ne regarde pas directement le chauffeur et le manufacturier, il est nécessaire de donner ici les principes d'après lesquels on doit se guider dans cette opération : ils sont indispensables, soit pour remplacer les pièces qui se brisent, soit pour vérifier les travaux d'un ouvrier monteur, et s'assurer qu'il n'a négligé aucun soin important : il est des fautes de montage auxquelles il serait difficile de porter remède plus tard; soit pour corriger au moins les défauts dus à cette cause, et que l'on apercevrait dans la marche de la machine. Nous ajouterons qu'il est impossible de bien connaître les machines, de découvrir et de guérir leurs maladies, si l'on ne s'est pas rendu un compte exact de l'ajustement et des rapports de position de toutes les pièces, de l'exactitude desquelles dépend presque entièrement la perfection de la machine.

Ainsi, nous recommandons instamment aux manufacturiers de veiller eux-mêmes à ce que les précautions les plus minutieuses soient prises dans ce montage. Une machine mal posée s'use beaucoup plus vite, est sujette à de continuelles réparations, entraîne par conséquent de nombreux chômages, et brûle enfin plus de houille. Nous ne craignons point d'insister encore ici sur la nécessité d'éviter tout chômage et tous frais inutiles : quelque faibles qu'ils paraissent en détail, ils forment, à la fin de l'année, une somme considérable.

1034. *Puits.* — Lorsque l'on a déterminé la place où l'on veut monter une machine à vapeur, le premier travail à faire est de

creuser le puits, et de s'assurer que l'on trouvera l'eau en quantité suffisante; un manque d'eau imprévu peut entraver l'entreprise la mieux conçue. On doit faire le puits, s'il est possible, avant les bâtiments, et de plus établir dans ce puits, ou dans le trou de sondage préalablement creusé, deux ou plusieurs pompes à bras, capables de tirer plus d'eau que la machine n'en consommera. On ne sera plus alors exposé à en manquer.

1035. *Massifs*. — Il faut monter ensuite les massifs sur lesquels la machine reposera, en même temps que le reste de la maçonnerie des murs. Si une partie de ces massifs se trouve placée immédiatement sur le bord du puits, ou en porte à faux, on y construit une arcade pour les soutenir. Le puits doit être large et profond, afin de recevoir sans peine les tuyaux et la pompe à eau, les raccommoder au besoin, et pour être sûr de ne jamais manquer d'eau. Il ne doit pas avoir moins de 1^m,30 de diamètre : c'est le moindre qu'on puisse lui donner, quand les massifs ne permettent pas d'aller au delà. Il est même bon, quand on est gêné par les massifs, de faire le puits plus large au fond qu'en haut; c'est une construction solide qui donne beaucoup de facilité pour le placement et l'entretien des pompes.

1036. *Beffrois en bois*. — Dans les pays où les bâtiments sont construits en bois, comme en Champagne, les beffrois qui portent les machines doivent être entièrement isolés du reste du bâtiment, auquel ils transmettraient une vibration continue, et détacheraient toute la maçonnerie qui en fait les remplissages.

Les massifs en pierre qui portent la machine reposeront sur le bon fonds, et, s'il n'était pas possible de l'atteindre, il faudrait damer solidement les fondations, et y établir un plancher de madriers de chêne, de 0^m,08 à 0^m,10 environ d'épaisseur, assemblés avec des traverses, ou un béton épais, sur lesquels le massif doit reposer; on construira ce massif entièrement en pierres de taille, de grandes dimensions, et dont tous les joints se recouperont, et l'on donnera d'autant plus de soin et de solidité à sa construction, que la machine qu'il doit porter sera plus forte.

Pour une machine de 10 chevaux, il doit avoir au moins 2 mètr. de profondeur.

On a essayé quelquefois de construire une partie de ces massifs en moellons ; mais cette faible économie présente de graves inconvénients : il est impossible de percer exactement à la mèche les trous des grands boulons qui traversent les massifs et y fixent la machine, ou d'y sceller avec quelque solidité des liens de fer pour réunir ensemble le peu de pierres de taille que l'on emploie. La dernière assise d'un massif doit surtout être composée de fortes pierres, et principalement celles qui portent le palier de la manivelle et les cylindres ; c'est là que se fait le plus grand effort de la machine, dans la transformation du mouvement de va-et-vient en mouvement circulaire : nous avons même vu, dans de petites machines, la pierre de la manivelle enlevée avec le palier à chaque tour de volant.

Il faut, en général, faire d'avance l'appareillage des pierres, afin que les plus grosses se trouvent chargées de soutenir les plus grands efforts.

Il est toujours avantageux de ne pas élever les murs d'enceinte avant la pose des grosses pierres de la machine, et on se réservera une porte de 2 mètr., afin d'entrer et de sortir facilement les plus grosses pièces.

Quand les massifs sont construits, on doit, s'il est possible, les laisser reposer quelque temps avant d'y monter la machine, pour les laisser tasser et éviter que la machine ne se dénivelle avec eux.

1037. *De la chambre de la machine.*—La chambre de la machine doit être élevée, afin que celle-ci n'y soit pas trop écrasée ; elle doit être éclairée par de larges fenêtres, placées, s'il se peut, à ses deux extrémités ; c'est le jour le plus favorable pour éclairer les parties importantes de la machine, et en même temps pour son effet général. Quand l'axe de l'arbre du volant qui transmet le mouvement dans les ateliers doit se trouver à une grande hauteur au-dessus du sol, il est bon de construire dans la chambre même un escalier qui en occupe toute la largeur, et qui conduit

sur le haut des massifs : l'aspect général de la machine et les dispositions de la transmission de mouvement y gagnent beaucoup.

Il est toujours utile, soit pour le service ordinaire, soit en cas d'accident, d'avoir dans la chambre de la machine une porte qui communique directement avec les ateliers. La chambre sera peinte à l'huile, et même marbrée, afin de pouvoir laver facilement les taches auxquelles elle est constamment exposée, et pour que les mains des ouvriers n'y marquent pas; la propreté de cette chambre est un des meilleurs moyens d'entretenir l'activité des chauffeurs. Une machine placée dans un local obscur, étroit et sale, ne flatte en rien leur amour-propre, et, dans la disposition des constructions, il est presque toujours facile de les rendre en même temps commodes et élégantes. Il est d'ailleurs difficile, et impossible même, de tenir une machine à vapeur propre et en bon état dans une chambre sale ou sombre.

1038. *Châssis en bois.* — On doit bien se garder d'employer des bois pour porter les paliers des machines à vapeur, à moins d'une nécessité absolue. Le bois travaille toujours, et ne se lie jamais solidement à la maçonnerie. C'est dans les forges seulement, à cause des secousses continues imprimées aux machines, que les supports en bois sont préférés avec raison aux massifs en pierre.

1039. *Chaudières.* — On trouvera, à la fin de notre premier volume, dans les articles relatifs aux fourneaux et chaudières, dans les ordonnances pour l'installation des appareils à vapeur, et les instructions qui les accompagnent, tout ce qui concerne la pose des chaudières, mais, qu'on ne l'oublie pas, il est de la plus haute importance d'asseoir solidement et sur bon fonds ou sur un plancher de chêne le massif des grandes chaudières. Il faut se rappeler qu'elles éprouvent toujours des tassements, et que, pour qu'elles ne prennent pas charge sur les bouilleurs, on réserve du jeu entre les lèvres des bouilleurs et les tubulures de la chaudière.

1040. *Pose de l'arbre de la manivelle et du volant.* — Pour monter une machine, on pose en premier lieu l'arbre qui porte la

manivelle et le volant ; cet arbre doit être parfaitement horizontal, il ne suffit pas pour cela que les paliers soient de niveau, parce que les gorges de l'arbre ne sont pas toujours égales : il faut se régler sur l'axe même de l'arbre, en vérifiant le diamètre des gorges avec un compas d'épaisseur, et ajoutant au palier de celle qui serait la plus faible une cale égale à la moitié de la différence du diamètre des gorges, afin de prendre le niveau sur cette cale et sur le palier le plus élevé.

On peut aussi préparer deux tourillons en bois, de la grosseur exacte des gorges de l'arbre, et les ajuster dans le palier, après avoir percé un petit trou dans leur centre ; on passe par ce trou une ficelle fine, qui sert à niveler les deux paliers. Ces nivellements doivent être faits avec un niveau à bulle d'air et une règle dont l'exactitude est scrupuleusement vérifiée, et que l'on retourne bout pour bout pour répéter l'observation et corriger les défauts possibles de la règle. *Quand on pose une pièce de mécanique, et surtout de machine à vapeur, on doit le faire avec la plus rigoureuse exactitude qu'il soit physiquement possible d'atteindre, et ne jamais se contenter d'approximations ; c'est cette habitude de soins et de patience qui ne se relâche jamais, même pour les pièces de peu d'importance, qui fait les bons monteurs, et en général les bons ouvriers.*

1041. Ordinairement, la hauteur de l'axe de l'arbre du volant est déterminée d'avance par le travail auquel il est destiné, et par la place à laquelle on doit porter le mouvement dans les ateliers : dans tous les cas, on part de cette hauteur pour poser la machine à vapeur ; mais, quand on peut la faire varier un peu sans inconvénient, on règle cette hauteur sur celle des massifs déjà construits, comme nous l'indiquerons tout à l'heure, afin d'éviter de retoucher aux massifs. Lorsque la machine est à double volée, c'est-à-dire lorsque le volant ne se trouve pas sur l'arbre de la manivelle, mais sur un autre arbre commandé par des engrenages, pour augmenter sa vitesse, on doit poser d'abord le second arbre qui transmet le mouvement dans les ateliers.

Pour vérifier si l'arbre de la manivelle est placé d'équerre sur

le grand axe de la machine, c'est-à-dire sur la ligne qui passe par le milieu des deux cylindres, du condenseur, du balancier et du prisonnier de la manivelle, on tend une ficelle très-fine sur le grand axe de la machine, et on place successivement la manivelle horizontale dans ses deux positions extrêmes, à droite et à gauche de son axe de rotation. La ficelle doit, dans ces deux cas, couper le prisonnier de la manivelle exactement au milieu de la partie occupée par la bielle; s'il en était autrement, c'est-à-dire si cet axe ne coupait pas le prisonnier à la même place, cette différence serait due à ce que l'axe de la manivelle ne tomberait pas d'équerre sur le grand axe de la machine : il faudrait l'y ramener en faisant marcher les paliers, et les vérifier jusqu'à parfaite exactitude.

1042. *Du volant.* — Quand l'arbre de la manivelle est parfaitement horizontal, on y monte le volant; on remarquera que ce volant est souvent ajusté de manière à ne pouvoir pas être monté en place; on en assemblera les pièces sur un plan horizontal, on le relèvera ensuite en entier, pour le descendre dans sa fosse et introduire dans son moyeu l'arbre qui le porte. Lorsque le volant ne peut pas être ajusté en place, il est plus important encore de ne pas construire d'avance les murs de la chambre de la machine, il serait impossible d'y monter le volant horizontalement, et on serait forcé de faire de larges ouvertures dans les constructions.

On doit serrer le volant contre le mur; mieux vaut encore le loger dans un cintre taillé dans l'épaisseur même des maçonneries, de manière à l'affleurer par sa face intérieure; cette disposition offre de l'élégance, en même temps qu'il reste un plus grand espace entre la roue de volée et la manivelle : cet espace est en général trop étroit pour avoir un passage convenable. On donne à l'ouverture des massifs dans laquelle tourne le volant une largeur suffisante pour qu'un homme puisse y descendre, et en retirer les objets qui y tomberaient.

Observons ici que devant le volant, comme autour de la bielle et de la manivelle, doivent être placées des balustrades solides, afin d'éviter tout accident.

On cale le volant sur son arbre, comme nous avons dit que l'on calait les roues, qu'il soit alésé ou non (972), et on doit aussi mastiquer l'intervalle de l'arbre et du moyeu, au mastic de fonte, si le volant n'était pas alésé.

1043. *Du balancier.* — Quand l'arbre de la manivelle est ainsi en place, il faut, avec les machines à balancier, déterminer exactement la hauteur à laquelle se pose le balancier, et par conséquent l'entablement et les colonnes. Les mesures que les mécaniciens donnent ordinairement pour la construction des massifs sont calculées de manière qu'en y ajustant la grande plaque, les colonnes et l'entablement, le balancier se trouve exactement à la hauteur qu'il doit avoir : c'est-à-dire que, quand la bielle y est fixée, il monte et descend, à chaque coup de piston, d'une quantité égale au-dessus et au-dessous de la ligne horizontale, passant par l'axe de ses tourillons, de manière, en un mot, que cette ligne partage sa course en deux parties exactement pareilles ; condition importante sur laquelle reposent la construction et le bon règlement du parallélogramme ; si cette condition n'était pas remplie, elle exigerait dans ce parallélogramme des changements difficiles.

Mais il est rare que l'exécution des massifs et des pièces de fonte soit assez rigoureuse pour qu'il n'existe pas une erreur de quelques millimètres sur la hauteur du balancier : il faut s'en assurer positivement ; c'est ce que font rarement les monteurs, et ce qui, dans beaucoup de machines, empêche la tige des pistons de descendre perpendiculairement.

Cette hauteur est égale à la longueur exacte de la bielle, depuis l'axe du prisonnier jusqu'à l'axe du tourillon de la boule du balancier, sauf une petite différence due à ce que, quand le balancier est au haut ou au bas de sa course, l'axe de ses tourillons n'est pas sur la même perpendiculaire que l'axe de l'arbre de la manivelle : nous verrons en effet, plus loin, que la perpendiculaire élevée sur l'axe de rotation de la manivelle doit partager en deux la flèche de l'arc de cercle décrit par la tête du balancier. Mais cette différence n'est pas appréciable sur une longueur aussi grande.

Pour prendre exactement la longueur de la bielle, on place dans ses grains de cuivre de petits tourillons en bois, du diamètre des tourillons de la boule du balancier et du prisonnier de la manivelle, destinés à les remplacer, en ayant soin de serrer les clavettes, et c'est entre leurs axes que l'on mesure la longueur de la bielle.

Ainsi, l'axe du balancier doit se trouver au-dessus de l'axe de rotation de la manivelle, à une hauteur exactement égale à la longueur de la bielle; on s'en rend facilement compte en réfléchissant que, quand le balancier est au haut de sa course, la distance perpendiculaire entre ces deux axes est égale à la longueur de la bielle, plus celle de la manivelle : et que, quand il est au bas, elle est égale à la longueur de la bielle, moins celle de la manivelle : donc, au milieu de sa course, cette distance perpendiculaire est égale à la longueur même de la bielle.

Rappelons que, quand le balancier est au milieu de sa course, la manivelle n'est pas horizontale, c'est-à-dire que son axe de rotation et son prisonnier ne sont pas sur une ligne horizontale, à cause de l'obliquité que prend la bielle, qui raccourcit sa hauteur perpendiculaire. Le prisonnier se trouve alors au-dessus de l'horizontale; et si les coups de piston de la machine étaient réguliers, la manivelle marcherait plus vite pendant son demi-tour inférieur que pendant son demi-tour supérieur; le volant corrige cette différence.

1044. *Du grand axe de la machine et de la bielle.*—Nous avons dit que le grand axe de la machine doit couper en deux le balancier, suivant sa longueur, et par conséquent passer par le centre de ses deux extrémités. Il doit passer aussi au milieu de la grande plaque qui porte le cylindre. Rien n'est plus important que de bien connaître la position de cet axe, qui coupe en deux parties égales le prisonnier de la manivelle, la bielle, le balancier, l'entablement, la grande plaque et les cylindres; cette ligne, déterminée par le milieu de l'épaisseur du grain de la bielle, et d'équerre sur l'arbre de la manivelle, sert de base à la pose de toute la machine.

1045. *De la grande plaque et des colonnes.*—Quand cette ligne est tracée au moyen d'une ficelle, ou, mieux, d'un fil de laiton fin et bien recuit, et de points de repère faciles à retrouver, on place la grande plaque de manière que l'axe de la machine la coupe en deux parties parfaitement égales. La ligne qui passe par le centre des colonnes, perpendiculairement à l'axe de la machine, c'est-à-dire l'axe de rotation du balancier, se trouve alors à une distance de l'axe de rotation de la manivelle égale à la moitié de la longueur du balancier, moins la moitié de la flèche de l'arc de cercle qu'il décrit.

1046. *Axe de rotation de la manivelle.*—En effet, pour que le balancier soit bien posé, il faut que son axe, déterminé par les deux points de centre de ses extrémités, coïncide avec le grand axe de la machine, c'est-à-dire qu'en faisant descendre un fil à plomb par le centre de ses deux extrémités, il tombe sur le fil qui détermine le grand axe.

On mesure ensuite l'arc de cercle décrit par le centre des tourillons de la boule du balancier, quand celui-ci marche : on trouve facilement cet arc en traçant sur un plancher la moitié de la longueur du balancier, depuis son axe de rotation jusqu'à l'axe de la boule, en lui donnant pour course, perpendiculairement au-dessus et au-dessous de ce niveau, la longueur de la manivelle, de manière que la course entière soit égale à deux fois cette longueur. En abaissant une perpendiculaire du sommet de cet arc sur la ligne horizontale qui le partage en deux parties égales, l'axe de rotation de la manivelle doit se trouver exactement à l'aplomb du milieu de l'intervalle restant, entre cette perpendiculaire abaissée et le centre des tourillons de la boule du balancier : ainsi, dans la course du balancier, le centre de ses tourillons s'écarte alternativement d'une quantité égale à droite et à gauche de l'aplomb de l'axe de la manivelle.

L'axe de rotation du balancier, qui repose sur l'entablement, doit donc être placé de manière que le centre de la boule du balancier, quand celui-ci est horizontal, soit plus loin que l'axe de rotation de la manivelle, d'une longueur égale à la moitié de la

flèche de l'arc de cercle décrit par le centre de la boule du balancier.

1047. *Entablement, grande plaque et colonnes.* — L'entablement, la grande plaque et les colonnes se placent d'après les mêmes mesures, puisqu'ils doivent se trouver à l'aplomb de l'axe de rotation du balancier, et être coupés en deux sur leur longueur par le grand axe de la machine.

1048. *Axe de rotation du balancier.* — Quand la plaque est posée suivant l'axe de la machine, et suivant l'axe de rotation du balancier, et qu'en outre on l'a mise d'aplomb avec une grande règle et un niveau à bulle d'air, on pose les colonnes, puis l'entablement, puis le balancier. Avant de fixer définitivement toutes ces pièces, on vérifie si l'axe de rotation du balancier est parfaitement de niveau, pour cela on vérifie si les deux points de centre des deux extrémités arrivent sur une même ligne perpendiculaire quand le balancier marche; cette vérification se fait en attachant un fil à plomb à une pièce de bois placée au-dessus du balancier, lui faisant couper en deux le point de centre de celui-ci, quand il est en haut de sa course, et observant si, quand il est en bas, le fil à plomb le partage encore; s'il n'y passait plus exactement, il serait évident que son axe de rotation ne serait pas de niveau, et que la course verticale du balancier serait gauche.

On peut encore le mettre d'aplomb au moyen d'un niveau (*pl. 17, fig. 45*) dont les pieds reposent à la fois sur les deux tourillons du balancier, et sur lequel on place un niveau à bulle d'air. En outre, on s'assure de nouveau que l'axe horizontal du balancier, passant par le centre de ses deux tourillons, partage sa course en deux parties égales.

1049. *Condenseur et cylindres.* — On met ensuite le condenseur en place, approximativement, parce qu'on ne peut le fixer que lorsque le parallélogramme est monté; on pose ensuite les cylindres avec toutes les précautions que nous avons signalées en parlant des cylindres (773). Pour que la pose soit parfaite, il faut, quand la machine est à deux cylindres, que le grand axe

passer par le centre des deux cylindres et de la colonne : il faut en outre que les deux fils à plomb qui passent par les deux centres des tourillons de la boule tombent, au delà du centre des grands cylindres, à une distance égale à la moitié verticale de l'arc de cercle décrit par le balancier, ainsi que nous l'avons expliqué pour la manivelle, afin de partager en deux le tirage oblique produit par le mouvement circulaire du balancier.

Pour placer ainsi les cylindres avec facilité, on les ferme tous deux au moyen de plateaux en bois bien ajustés ; on détermine exactement le centre de chaque cylindre sur ces plateaux ; on y trace la ligne qui passe par les deux centres, et par celui de la colonne du parallélogramme : il est alors facile de faire coïncider cette ligne avec le cordeau qui détermine le grand axe : les boulons qui doivent fixer les cylindres à la plaque et aux massifs laissent assez de jeu, lorsqu'ils ne sont pas serrés. On dresse aussi les cylindres en mettant une règle et un niveau à bulle d'air sur leur bord tourné.

On marque ensuite, au delà du centre du grand cylindre, c'est-à-dire du côté de la colonne, une distance égale à la moitié verticale de l'arc de cercle du balancier, et on trace en ce point, sur le plateau, une ligne perpendiculaire à l'axe de la machine ; c'est sur cette ligne que doivent tomber les fils à plomb, abaissés par les centres des tourillons de la boule, quand le balancier est parfaitement horizontal. On détermine ainsi la position des cylindres dans les deux sens, par des tâtonnements assez minutieux, et on les met en même temps d'aplomb, au moyen de la règle munie d'un fil à plomb (*pl. 17, fig. 44*), dont nous avons déjà parlé, et à laquelle on fait parcourir successivement le tour entier des deux cylindres. En plaçant ces deux niveaux dans les cylindres, on les dresse facilement sur tous les sens. On s'assure aussi, par ce moyen, si les deux cylindres sont parfaitement parallèles entre eux. On met, s'il le faut, des cales entre la plaque et les cylindres pour les dresser, et on serre fortement les écrous.

1050. *Autres pièces de la machine.* — Nous avons déjà indiqué les soins que réclame la pose de l'entablement, du parallé-

gramme et des pistons, de la bielle, du condenseur et du modérateur. Celui-ci se pose d'aplomb, par le même moyen que les cylindres, et s'assujettit avec des boulons. Quand le parallélogramme est placé et réglé, il faut seulement faire attention à sa hauteur, parce qu'ordinairement les tringles sont faites d'avance, et que sans cela on serait souvent obligé de les couper. Quant à la pompe alimentaire, pour la placer, on met le balancier horizontal : dans cette position, le fil à plomb, qui tombe au milieu de la boîte à étoupes de la pompe, doit couper perpendiculairement en deux l'arc de cercle décrit par le tourillon du balancier, qui porte la tige de la pompe, comme nous l'avons dit pour la manivelle, afin de partager le tirage oblique de la tringle.

Nous avons déjà donné avec détail la manière de poser les boîtes ainsi que la pompe de puits, et de régler toutes les pièces de la machine.

1051. *La machine doit être montée d'avance, dans l'atelier de construction.* — Les principes que nous venons de tracer ici sur le montage des machines sont nécessairement incomplets; nous ne les destinons pas à former un ouvrier monteur; cependant ils renferment les bases de ce travail, et un homme intelligent, qui connaîtra déjà une machine, y trouvera tout ce dont il a besoin pour remplacer des pièces brisées ou dérangées, et se rendre bien compte des rapports de position qui existent entre toutes les parties d'une machine. Nos conseils serviront surtout à pouvoir vérifier plus tard si une machine est bien montée, ou si elle ne s'est pas dérangée.

Au reste, une machine, pour être bien montée, et par conséquent donner de bons résultats, doit être ajustée et montée d'avance dans l'atelier du mécanicien. Ce que l'on ferait plus tard sur place est toujours mal exécuté. Tous les mécaniciens, sans exception, le font aujourd'hui.

Ce qui précède est principalement applicable aux machines de Woolf, à deux cylindres; mais ce sont les plus difficiles à monter, et les principes de montage sont les mêmes pour toutes les autres machines à balancier et à volant. En effet, la difficulté est de

bien déterminer le grand axe de la machine, l'axe de la manivelle et celui du cylindre, en partageant verticalement en deux l'arc de cercle décrit par le centre des boules du balancier; puis de poser le balancier au-dessus de l'axe de la manivelle, d'une quantité égale à la longueur de la bielle, afin que sa course soit partagée en deux parties égales par l'horizontale qui passe au centre de ses tourillons.

1052. *Machines portatives.* — Les machines dites portatives, qui sont assemblées et posées sur des bâches en fonte, indépendantes des bâtiments, ont été ajustées et montées d'avance dans l'atelier de construction; elles ne demandent plus qu'un massif solide, et une grande exactitude de la part de ceux qui les posent, pour faire coïncider l'axe du balancier avec l'axe de commande des ateliers et en remonter toutes les pièces, et pour que la machine entière soit montée parfaitement d'aplomb. Les principes de pose sont, au reste, les mêmes.

1053. *Machines à un cylindre.* — Les machines à un cylindre se posent exactement par le même procédé que celles à deux cylindres. La pose des machines à balancier sans volant, comme les machines d'épuisement, est encore plus simple, puisqu'il faut se régler seulement sur le grand axe de la machine, et le faire passer par le point où l'on veut établir les tiges des pompes, et qu'au reste on ne monte ordinairement celles-ci qu'après les machines; ce qui laisse toute latitude pour poser son grand axe et son balancier, et y ajuster ensuite le cylindre.

1054. *Pose des machines horizontales.* — La pose des machines horizontales se fait par les mêmes règles: toutes les petites machines sont montées sur une plaque ou un bâti à l'atelier; il ne reste plus qu'à faire des massifs de maçonnerie solides, très-bien dressés, et à y poser la machine, en vérifiant avec soin son niveau, et à la mettre parfaitement d'équerre sur l'arbre de couche ou la transmission qu'elle doit commander. Si la commande se fait par une courroie montée sur le volant, il faut que l'arbre du volant et celui qui reçoit la poulie commandée soient rigoureusement parallèles.

Les mêmes précautions doivent présider au montage d'une forte machine horizontale, dont le volant se trouve sur un massif différent de celui du cylindre : le grand axe de la machine se trace toujours sur le massif qui reçoit le cylindre. Avec les bases de montage et les détails de soins que nous avons tracés, on peut mettre en place tous les systèmes de machines à vapeur.

1055. *De la consolidation d'un massif ébranlé.*—Nous avons eu à faire un travail pour reprendre et consolider le massif d'une machine de 30 chevaux, à balancier et sans condensation, qui était ébranlé. Le massif du cylindre était parfaitement intact. Celui des colonnes avait plusieurs de ses assises, en pierres de taille, entièrement rompues par l'effort que le balancier fait sur les paliers, l'entablement et les boulons scellés sous le massif des colonnes, au moment où le piston remonte.

Le massif de la manivelle était aussi ébranlé, mais de peu de chose.

Nous avons insisté sur la nécessité de consolider complètement le massif des colonnes sans perdre un moment, les ébranlements de cette nature allant toujours en augmentant d'intensité et donnant lieu à des frottements irréguliers de chaque minute et pouvant certainement amener des ruptures dans un délai déterminé. Nous avons pensé que le massif de la manivelle ne serait peut-être plus ébranlé, après la consolidation de celui des colonnes.

Les deux murs latéraux de la chambre de la machine, bâtis profondément en pierres de taille, offraient d'excellents points d'appui pour passer sous le massif des colonnes une ferme moisée, en bois de chêne de choix, composée de pièces assez courtes pour pouvoir mettre la ferme en place au milieu des massifs, et combinée de manière à résister au tirage des boulons de fondation des colonnes et à soutenir ce massif, grièvement compromis. Cette ferme, convenablement armée de boulons et d'étriers en fer, a dû être assemblée hors des bâtiments avant d'être mise en place.

J'ai conseillé, avant de fouiller la place de cette ferme, de faire

des murs en reprise, et par parties, d'abord sur les parois du massif du cylindre, ensuite sous le massif de la manivelle et dans la fosse du volant.

La fouille destinée à recevoir la ferme pouvait ensuite se faire sans danger. Après avoir posé et scellé la ferme d'une manière invariable dans les murs, on a dû reprendre solidement en sous-œuvre, avec des maçonneries hydrauliques, le dessous du massif des colonnes, et enfin on a dû serrer les boulons des colonnes, rallongés par des pièces à douille et à clavette, et qui sont descendus alors jusque sous la ferme en bois. De larges platines de fer et de forts écrous assuraient aux boulons des colonnes une position inébranlable.

CINQUIÈME PARTIE.



DES MACHINES LOCOMOTIVES.

1056. Notre travail, qui embrasse le choix, le montage, la conduite et l'entretien des principaux systèmes de machines à vapeur et la mesure de leur puissance, ne peut pas être un traité spécial de construction et de conduite des locomotives. *Le Guide du mécanicien constructeur et conducteur de locomotives* remplit complètement cette place. Ce que nous donnerons ici, c'est :

1° L'analyse des principaux progrès réalisés pendant ces dernières années dans les locomotives ;

2° La description successive des diverses pièces qui composent une locomotive ;

3° La distribution de vapeur et la détente ;

4° Les plans et détails d'une de ces puissantes machines à marchandises (système Engerth) qui traînent 450 tonnes nettes, au chemin du Nord ;

5° Des observations sur les entretiens des divers systèmes de locomotives ;

6° Enfin, les expériences si remarquables faites par M. J. Poirée au chemin de Paris à Lyon.

1° *Analyse des principaux progrès réalisés aujourd'hui dans la construction des locomotives et le service des chemins de fer. Travaux de la Compagnie du chemin de fer du Nord.*

C'est à la Compagnie du chemin de fer du Nord de la France,

et en particulier à M. Petiet, son directeur, et à ses ingénieurs, qu'appartient l'honneur d'avoir, en peu d'années, conçu et réalisé au même moment, en pratique, sans rien interrompre au service immense des communications de Paris avec le nord de la France, l'Angleterre, la Belgique et l'Allemagne entière, les grands perfectionnements qui ont amené deux révolutions : l'une dans le service du transport des voyageurs à grande vitesse ; l'autre dans l'augmentation, suivant une énorme proportion, de la masse des marchandises transportées par un seul train (1).

Lorsque, en 1848, les embranchements du littoral de la France furent terminés et que les communications avec l'Angleterre prirent chaque jour un développement nouveau, la Compagnie sentit la nécessité d'imprimer une accélération nouvelle à ces communications et de créer des *trains express*, réclamés en même temps par l'administration des postes ; la Compagnie, qui avait déjà dans les mains un matériel très-puissant et des voitures solides et capables d'entrer dans la composition de trains fortement chargés, et en outre rapides, pour satisfaire à ces conditions de vitesse exceptionnelle, sans compromettre la sécurité des voyageurs et la durée de la voie, créa un matériel spécial et refondit entièrement l'ancien.

1057. *Service des voyageurs*. — Elle jugea, avant qu'aucune ligne les eût adoptés en service régulier, tout ce que les machines et le système de M. Crampton, avec ses longues chaudières, sa grande surface de chauffe, ses roues d'un grand diamètre et plus multipliées, présentaient d'avantageux pour la solution du premier problème qu'elle s'était posé : celui d'une vitesse moyenne de 60 ou 80 kilomètres à l'heure. Elle fit exécuter particulièrement dans les ateliers de MM. J. F. Cail et C^{ie}, sur les plans de M. Crampton, de nombreuses locomotives, qui, par la bonté du principe et des dispositions réunies à la perfection de l'exécu-

(1) Rapport de M. Lechatelier à la cinquième classe du jury international de l'Exposition universelle.

tion, ont assuré dès le premier jour le succès complet de cette entreprise si hardie.

Les trains express chargés du service postal entre la France et l'Angleterre, avec leur vitesse normale si grande, exigèrent aussi une grande accélération dans tout le service des voyageurs, et les quatre-vingt-dix-huit premières machines à voyageurs furent immédiatement transformées. Pour leur donner la stabilité nécessaire à un pareil service, on porta de 2^m,65 à 3^m,25 et à 3^m,50 l'écartement des essieux de ses voitures; on remplaça, dans les gares de voyageurs, les anciennes plaques tournantes de 3^m,40 par des plaques de machines de 4^m,20, et celles-ci par des plaques de 6 mètres; les essieux et leurs fusées furent beaucoup renforcés et les boîtes à graisse modifiées, pour éviter les accidents de route dus à une usure inégale; enfin, on remplaça l'ancienne voie trop légère par une voie plus solide, fortement assise et consolidée par le système des éclisses, appliqué aux joints. On a fait ainsi le trajet de Paris à Londres en douze heures et celui de Cologne en quinze.

Tous les chemins de fer plus récents ont adopté cet ensemble de dispositions, et ont obtenu les mêmes vitesses; mais aucun ne les a dépassées.

1058. *Service des marchandises.* — Le service des marchandises a subi aussi une révolution complète et est arrivé à une puissance de traction dont il n'existe pas d'exemple sur aucun autre chemin de fer. Avant cette transformation, les wagons de marchandises portaient 6 tonnes et la charge maximum d'une machine était réglée, comme sur le chemin de fer de Rouen, à 133 tonnes, quoique la voie plus accidentée du Nord exigeât des machines un peu plus puissantes.

La Compagnie comprit qu'il y avait là une question bien plus large : qu'il fallait faire concurrence à la navigation et transporter, dans les mêmes conditions d'économie, la houille, notamment, qui se présente par masses, mais qui exige un tarif très-réduit; et elle dut chercher tous les moyens d'augmenter l'effet utile des machines à marchandises.

Pour cela, on réduisit le poids mort transporté, en augmentant la force des essieux, sans allonger les wagons, et on arriva à charger jusqu'à 10 tonnes nettes de houille et de coke.

Les anciennes machines remorquaient 21 de ces wagons; leur charge utile a été portée d'abord de 133 à 210 tonnes.

Pour augmenter encore la puissance de traction des machines, on leur a donné une chaudière et des organes plus puissants.

Pour ce service, la Compagnie créa ensuite, avec le concours du Creuzot, un nouveau type de machines, remorquant, sur des pentes de 5 millimètres, 30 wagons chargés de 10,000 ou de 10,300 kil. de houille et de coke, ce qui a porté la charge utile à 310 tonnes.

Enfin, pour faire face au développement aussi constant que rapide du trafic, la Compagnie a profité des perfectionnements apportés en Autriche à la construction des locomotives par le système d'Engerth, pour créer un nouveau type qui remorque une charge utile de 450 tonnes.

Ainsi, en huit ans, la charge utile fut d'abord doublée, et ensuite plus que triplée.

Sous la direction de M. Bonnet, aujourd'hui ingénieur en chef de la voirie de Lyon, les transports de la houille entre la Belgique et Paris avaient subi aussi une révolution complète. Le canal de Saint-Quentin, qui était un obstacle constant au bon marché et à la régularité des transports par son faible tirant d'eau et par ses réparations continuelles, avait vu aussi augmenter dans une proportion considérable sa hauteur d'eau, et par conséquent les dimensions et la charge des bateaux. L'accélération et la régularisation des voyages avaient été aussi très-remarquables. Ces services si grands avaient été complétés par l'abaissement des droits que perçoit l'État, droits qui pèsent injustement sur les routes des canaux, quand en France toutes les autres routes sont affranchies de tout droit. C'est contre des transports par eau, organisés dans d'aussi favorables conditions, que la Compagnie du Nord avait à lutter; et elle est arrivée à transporter la houille, le coke et les autres marchan-

dises d'encombrement, comme les marbres, les ardoises, la pierre et le plâtre, à des prix qui descendent jusqu'à 03 centimes par kilomètre. Ceux qui savent suivant quelle proportion les transports entraînent et entrent encore dans le prix de la houille rendue à Paris et quelle masse toujours croissante de combustible réclame l'industrie parisienne, pourront apprécier la valeur du service rendu au pays par la Compagnie du chemin de fer du Nord et par ses ingénieurs; et tout ce qu'il a fallu de dépenses, de persévérance et de talents pour réaliser de semblables résultats, sur une aussi grande échelle, sans interrompre en rien les services.

Concours du Sœmmering (1853).

1059. *Système de M. Engerth.* — Un concours fut ouvert en Autriche, afin d'obtenir une machine qui remplit toutes les conditions nécessaires pour faire le service de la section du Sœmmering sur le chemin de fer de Vienne à Trieste : c'est le système trouvé par M. Guillaume Engerth, conseiller technique à la direction générale des chemins de fer de l'État, en Autriche, dont le projet a été adopté à la suite du concours; et sa première machine franchissait le Sœmmering en 1853.

Le système de M. Engerth se compose de deux éléments distincts :

1° L'emploi d'un châssis brisé, qui permet de rapprocher les roues motrices vers l'avant de la machine, pour faciliter leur passage dans les courbes de petit rayon et dans les changements de voies, et qui supporte sur un châssis indépendant le foyer auquel on peut dès lors donner les dimensions nécessaires pour une grande chaudière ;

2° L'emploi d'un système d'engrenages qui réunit le train des roues du châssis mobile avec celui des roues motrices, et qui permet de faire concourir le poids total de l'appareil à l'adhérence, sans qu'il perde la propriété de circuler avec facilité dans les courbes de petit rayon.

En introduisant dans le système des supports de la machine un double châssis dont les deux parties sont réunies par une articulation placée sous la chaudière, en avant du foyer, M. Engerth a résolu fort heureusement la question de l'emploi des machines très-puissantes dans les courbes d'un petit rayon, et il a levé la difficulté grave qui s'opposait à l'accroissement de la puissance des machines à marchandises sur les chemins de fer à grand trafic.

Pour augmenter largement la puissance des machines, il fallait, ou sacrifier la répartition égale du poids sur les trois essieux accouplés, et accroître outre mesure leur écartement extrême en rejetant l'un d'eux à l'arrière du foyer, ou augmenter la dimension du foyer dans une juste proportion avec les tubes, en renonçant à répartir convenablement la charge, et en plaçant les trois essieux moteurs entre la boîte à feu et la boîte à fumée. Ces conditions si fâcheuses pour une bonne construction de machines, M. Engerth y a satisfait d'une manière si heureuse, que son système a été de suite adopté sur toutes les grandes lignes de la France et de l'Allemagne.

En trois ans, 444 machines Engerth ont été commandées, dont 66 pour la Compagnie du chemin de fer du Nord. Les machines sur le Sømmering remorquent aujourd'hui, avec une pente continue de 25 millimètres par mètre, et une voie très-sinueuse, dont les rayons de courbure descendent souvent à 180 mètres, en toute saison et à des vitesses de 15 ou 20 kilomètres, une charge brute de 200 tonnes; ce qui répond à toutes les nécessités du transport des voyageurs et à un service de marchandises très-actif.

L'emploi d'un engrenage, que la pratique a déjà sanctionné, a permis d'obtenir d'un moteur unique une puissance exceptionnelle, et ces engrenages n'ont pas présenté jusqu'à présent, dans le service, les inconvénients que l'on pouvait craindre : leur usure inévitable ne peut en rien être comparée avec l'avantage qu'ils donnent en permettant d'employer des moteurs très-puissants au transport des marchandises. Les premiers engre-

nages ont été faits en acier fondu qui sera certainement bientôt remplacé par la fonte moulée en coquille.

M. Pastor, l'habile directeur des ateliers de la Société John Cockerill, à Seraing, près Liège, a envoyé à l'Exposition universelle une locomotive du système Engerth destinée à remorquer des convois de houille de 450 tonnes de poids utile, dont la chaudière a 1^m,50 de diamètre, les tubes 5 mètres de long, et dont la surface de chauffe est de 242 mètres carrés. Le tender a six roues et son essieu d'avant est seul accouplé avec le train des trois essieux moteurs, au moyen de l'engrenage d'Engerth. Voici les dimensions principales de cette puissante machine :

Diamètre des cylindres,	mèt.	0,50
Course des pistons,		0,66
Diamètre des quatre paires de roues motrices,		1,258
Écartement extrême des trois premiers essieux,		2,600
Id. des trois essieux du tender,		3,445
Distance du troisième au quatrième essieu,		1,325
Écartement total de l'essieu d'avant à l'essieu d'arrière,		7,370
Volume d'eau approvisionnée,	m. c.	8
Coke,		5
Poids de la machine vide,	tonnes	50
Id. avec la charge complète,		64
Nombre des tubes,		234
Longueur id.,	mèt.	5
Diamètre id.,		0,055
Surface de chauffe des tubes,	mq.	202,06
Id. du foyer,		40,44
Id. totale,		242,50
Tension absolue de la vapeur,	atm.	7

Cette machine a fait un service régulier entre Douai et Amiens, où la voie présente fréquemment une pente de 5 millimètres; et le dernier jour des essais elle a remorqué, sur cette distance de 28 kilomètres, en 1 h. 5' à l'aller et 1 h. 2' au retour, 46 wagons de coke et de houille, présentant un poids brut de 669 tonnes et un poids net de 482 tonnes.

La vitesse dépassait 25 kilomètres à l'heure, en montant une rampe de 4 millimètres par mètre.

Le service rendu par M. Engerth, en introduisant dans la construction des locomotives deux idées très-simples, a permis aux chemins de fer de lutter contre les obstacles naturels devant lesquels ils étaient forcés de reculer, ou qu'ils devaient tourner; c'est là, avec les locomotives Crampton, les deux grands perfectionnements généraux introduits depuis quelques années dans cette industrie, aussi puissante qu'universelle.

1060. *Emploi de la houille en nature.* — L'emploi en grand de la houille maigre en nature, avec les grilles à gradins de Marsilly et de Chobrzinski, sur le chemin du Nord et pour les trains de marchandises, est aussi un grand progrès dans l'industrie des chemins de fer.

1061. *Durée de travail d'une Crampton de MM. J. F. Cail et C^{ie}.* — Quant aux perfectionnements, sous le rapport de la solidité, de la bonne combinaison et de la perfection d'exécution, ils se résument dans une machine Crampton sortie des ateliers de MM. J. F. Cail et C^{ie}, en 1849, et qui a été présentée à l'Exposition universelle, dans un excellent état, après six ans d'un service très-actif, correspondant à 240,000 kilomètres parcourus. M. de Pambour citait, en 1844, comme un résultat remarquable, une locomotive anglaise, *Liver*, qui avait parcouru 53,000 milles ou 89,517 kilomètres sans une réparation complète.

1062. *Application de la détente.* — L'application définitive de la détente aux locomotives, dans des limites larges et constantes, est due aux ingénieurs français, et c'est M. ^{Cail, en 1820} Crampton qui a trouvé le moyen de détendre plus ou moins en allongeant la bande des tiroirs, ce qu'on appelle donner du recouvrement intérieur ou extérieur. On a ainsi obtenu des résultats très-remarquables comme économie de combustible. C'est la détente variable à un seul tiroir de Stéphenson, où se trouvent résumés avec tant de simplicité tous les résultats obtenus en France, et toutes les conditions de service, qui est aujourd'hui presque partout employée.

Appareil moteur des locomotives.

Dans notre premier volume (273) nous avons donné tout ce qui concerne l'appareil producteur de vapeur des locomotives, la préparation et l'emploi des combustibles; nous donnons ici ce qui regarde l'appareil moteur, en nous appuyant principalement sur le *Guide du mécanicien constructeur et conducteur de locomotives*.

1063. *Cylindres à vapeur.* — Les *cylindres à vapeur* sont en fonte, fermés à l'avant par un couvercle boulonné, et à l'arrière par un fond fixe percé d'un trou qui livre passage à la tige du piston; chaque cylindre est percé de deux lumières qui débouchent aux deux bouts du cylindre et dans la boîte du tiroir. Entre ces deux lumières est celle d'échappement de vapeur, qui est toujours recouverte par le tiroir. La tige du piston traverse le fond du cylindre dans un presse-étoupe ou *stuffing-box*, qui ferme toute issue à la vapeur.

La crosse ou coquille de la tête de la tige du piston est armée de patins qui courent sur des glissières, pour guider le piston dans son mouvement de va-et-vient; elle reçoit la *petite tête* de la *bielle motrice* qui transmet le mouvement à la manivelle de *l'essieu moteur* et aussi au plongeur de la pompe alimentaire, quand celle-ci est commandée directement.

La bielle agit, soit sur une manivelle formée par un coude de l'essieu moteur, soit sur un bouton fixé sur un renflement de chacune des roues motrices, quand les cylindres sont en dehors des roues. L'essieu moteur porte pour chaque cylindre deux excentriques munis de leurs colliers et de leurs barres, qui conduisent les tiroirs de distribution de vapeur. Ordinairement les extrémités des deux barres d'excentriques sont réunies par une coulisse en arc de cercle, dans laquelle la tige du tiroir est engagée à frottement doux, et qui sert à changer de marche, le levier de changement de marche la faisant monter et descendre, par rapport au bouton de la tige du tiroir, et elle sert à produire la dé-

tente variable. Ce système porte le nom de Stéphenston, son inventeur (*pl.* 40, *fig.* 105 à 108).

1064. *Appareil de changement de marche.* — L'appareil de changement de marche se compose 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 aux deux bouts, avec le système des deux pieds de biche de chaque tiroir, ou avec la coulisse qui les remplace. Pour que le graissage ait lieu lentement et d'une façon continue, de manière à ne graisser qu'après un parcours de 40 ou 50 kilomètres, on emploie des godets rapportés sur les pièces, ou venus de masse, dans l'axe desquels un petit tube cylindrique forme un réservoir et reçoit une mèche de coton dont l'extrémité plonge dans l'huile et fait siphon.

1065. *Tuyau d'échappement de vapeur.* — Le *tuyau d'échappement* est l'organe principal du mouvement et du tirage nécessaire à la vaporisation; les deux tuyaux d'échappement des deux cylindres se réunissent à la sortie des cylindres, ou en bas de la cheminée; l'orifice est presque toujours *variable de section*, afin de modifier à volonté pendant la marche la vitesse d'échappement de la vapeur et le tirage, et de réduire le plus possible la contre-pression, quand la vaporisation est suffisante pour le service.

1066. *Châssis, bâti, roues et essieux.* — Le *châssis* ou *bâti* est un cadre formé de deux *longerons* et de deux traverses: les *longerons* sont en fer de champ, ou en bois armé de tôle; les traverses sont en bois. Le châssis et la machine qu'il porte sont soutenus sur des roues qui varient de quatre à huit. Ces roues sont solidaires avec leurs *essieux*. La machine porte, sur la *traverse* d'arrière, des *tampons de choc* composés de matières élastiques, et, sur la *traverse* d'avant, des tampons en bois qui maintiennent l'écartement du tender.

1067. *Tender.* — Le *tender*, destiné à porter l'eau et le coke

nécessaires à la machine, se compose d'une caisse à eau et d'un train ou châssis porté par deux ou trois paires de roues. Il reçoit un frein que le chauffeur manœuvre pour ralentir ou arrêter la marche de la machine. La machine est toujours reliée à son tender par une barre d'attelage et par les tuyaux de prise d'eau. Ordinairement le tender reçoit de 5,000 à 6,500 litres d'eau et 1,000 ou 1,500 kilogrammes de coke.

1068. *Tuyau de prise de vapeur.* — Il part du sommet du réservoir de vapeur, où il est évasé pour ouvrir un passage libre à la vapeur; il redescend et va courir dans toute la longueur de la chaudière en suivant son cintre supérieur; puis il arrive dans la boîte de fumée à travers les parois de laquelle il est boulonné solidement; il se bifurque en même temps pour alimenter de vapeur les deux cylindres.

Le tuyau est en fonte ou en laiton dans le dôme, et en cuivre rouge de 3 à 5 millimètres dans sa longue partie horizontale. Celle-ci, surtout si le dôme est au-dessus du foyer, ce qui lui donne beaucoup de longueur, demande une grande solidité dans les joints à brides ou coniques qui en réunissent les parties, d'autant plus que tous les joints se font forcément par le trou d'homme de la chaudière, ce qui est toujours difficile. La section des tuyaux de prise doit être de 1/10 de celle du cylindre et celle du tuyau bifurqué moitié de la précédente.

Le tuyau de prise de Crampton se raccorde près de son extrémité antérieure avec une boîte en fonte qui porte le régulateur; il est percé dans toute sa longueur d'une fente longitudinale qui prend la vapeur partout à la fois, et il n'y a pas de réservoir de vapeur.

1069. *Régulateur.* — Le régulateur sert à ouvrir ou à fermer le passage de la vapeur de la chaudière au cylindre. Il est ordinairement formé par un tiroir qui est placé horizontalement, ou verticalement, ou même obliquement, et muni d'un ressort pour qu'il ne soit jamais soulevé. Quand il est placé à l'orifice de la conduite, il est commandé par une tige de fer qui repose d'un bout sur une crapaudine venue avec le tuyau et sortant à l'exté-

rieur, à travers une boîte à étoupes; une manette sert au mécanicien à faire tourner cet axe, qui, par le moyen d'une manivelle et d'une bielle, fait marcher le tiroir. Si le régulateur est formé d'un papillon, sa tige commande un parallélogramme qui transmet directement le mouvement de rotation au régulateur.

Dans les machines Crampton, un double tiroir, commandé par une tige unique, couvre ou démasque à la fois deux lumières pentagonales, réservées dans une boîte. La forme de ces lumières permet de ne donner à la vapeur qu'une issue très-étroite, au départ du tiroir; ce que ne permettent pas les lumières rectangulaires. La tige du régulateur est guidée, droite, et porte une coulisse commandée par une manivelle montée sur un arbre, qui fait tourner un volant, placé en guise de manivelle, à la main du mécanicien.

1070. *Alimentation des chaudières, pompe à grande course.* — Les pompes alimentaires à grande course sont commandées directement par les tiges de piston; leur corps de pompe, en fonte ou en bronze, se fixe dehors ou dedans le châssis et parallèlement aux cylindres. La pompe est à simple effet, et son plongeur en fer, en acier ou en bronze, de 4 ou 6 centimètres de diamètre, est emmanché avec sa coquille, au moyen d'un levier calé sur le bout du boulon qui réunit la bielle motrice à la tige du piston. Le corps de pompe a un presse-étoupe qui sert de guide au plongeur. Comme toutes les pompes alimentaires, son diamètre intérieur est de beaucoup plus grand que celui du plongeur, pour que le sable et les ordures s'y logent, sans occasionner d'accident.

La chapelle de la soupape d'aspiration est placée ou ajustée au-dessous, ou sur un des côtés du corps de pompe. Les soupapes à clapets ou à boulet en bronze doivent toujours être faciles à nettoyer et à roder, comme nous l'avons montré en parlant des pompes alimentaires (tom. II, 3^e partie). La soupape de refoulement est toute semblable et ajustée seulement dans une boîte rapportée sur le corps de pompe.

Pour éviter les arrêts de la pompe amenés si souvent par les soupapes, qui se salissent, se collent et ne tiennent pas l'eau, on

met ordinairement deux soupapes de refoulement à la suite l'une de l'autre et un robinet d'arrêt près de la chaudière. La course des plongeurs varie de 0,46 à 0,70.

Entre les deux soupapes de refoulement, est un tuyau, dit d'épreuve, qui sert à évacuer l'air ou la vapeur qui ont pu s'accumuler entre les deux clapets, ou à amorcer au besoin les soupapes avec de l'eau froide.

1071. *Pompes à petite course.* — Les pompes à petite course commandées par les excentriques de la distribution ne peuvent être employées que lorsqu'il existe une grande distance entre l'essieu moteur et le foyer. Le plongeur, de 0,100 diamètre et de 0,140 de course au plus, est commandé par l'excentrique de la marche en arrière, qui travaille moins longtemps et fatigue bien moins que celui de la marche en avant, et par une bielle de 0,50 de longueur, ajustée à charnière au fond du plongeur, qui est alors creux. Dans les machines Crampton, les pompes sont en avant des cylindres, et le plongeur est formé par le prolongement même de la tige du piston.

Il y a toujours deux plongeurs pour une locomotive, un pour chaque cylindre, afin de parer à toute chance d'accident et d'avoir toujours l'alimentation de la chaudière parfaitement assurée. Pour proportionner des pompes dans une machine, on doit compter le volume théorique du coup de plongeur alimentaire, à raison de 60 1/0 d'effet utile, et sur un travail d'un tiers seulement du temps de marche de la machine.

1072. *Tuyaux d'alimentation et de refoulement. Accouplement de la machine et de son tender.* — Chaque pompe puise l'eau dans le tender au moyen d'un tuyau en cuivre rouge de 0^m,05 de diamètre environ et de 3 ou 4 millimètres d'épaisseur, et muni d'une soupape à son débouché dans le tender. Il faut un raccord facile pour séparer ou réunir promptement la locomotive et son tender; les tuyaux en toile s'usent ou se coupent trop vite et laissent pénétrer souvent l'air dans la pompe alimentaire.

On accouple aujourd'hui la machine et son tender par deux rotules en bronze de 0^m,20 de diamètre, l'une mâle et l'autre

femelle, qui arrivent exactement l'une dans l'autre, ou par des tuyaux en cuivre, minces, roulés en spirale, munis de raccords à vis ou coniques. Chaque tuyau d'aspiration reçoit un *tuyau réchauffeur* par lequel on envoie dans l'eau du tender toute la vapeur qui serait perdue dans les moments d'arrêt. Le *tuyau de refoulement*, en cuivre rouge, de même diamètre que celui d'aspiration, est soudé à un tuyau de bronze appliqué sur la chaudière par un joint boulonné; ce tuyau doit être placé dans l'avant de la partie cylindrique de la chaudière et le plus loin possible du foyer. En Allemagne, beaucoup de machines ont un entonnoir à robinet, qui permet de remplir facilement les chaudières avant l'allumage.

1073. *Incrustations*. — Nous avons traité à fond la question des incrustations (203). Les habiles auteurs du *Guide du constructeur de locomotives* pensent que les infusions de bois de teinture et le tannin, employés avec succès contre les incrustations, font primer et mousser l'eau; que d'autres matières attaquent les masticages et les font fuir. Tout le monde du reste est d'accord sur l'importance de la question des incrustations et la nécessité de l'étudier à fond, pour arriver à les prévenir sans attaquer les joints, ni le métal des chaudières, et sans épaissir l'eau.

En Allemagne, surtout quand les eaux sont mauvaises, on emploie avec un plein succès l'infusion de bois de chêne, c'est-à-dire le tannin, utilisé déjà par Bevenot (218).

Sur le chemin de fer du Taunus (1), les machines ne peuvent rester plus de trois ou quatre jours en service sans être incrustées. Dans la matinée du quatrième jour, on jette 150 ou 200 litres d'extrait de tan dans le tender, l'eau devient mousseuse dans la chaudière. Les incrustations récentes se détachent, les anciennes sont attaquées. Après deux heures de marche, l'eau devient boueuse, et on purge la chaudière. Le lendemain, on nettoie la chaudière en ouvrant tous les robinets et les trous de vidange; on fait sortir les débris d'incrustation avec des tringles à crochet, et on les enlève en injectant avec force de l'eau dans

(1) *Chemins de fer de l'Allemagne*, par Lechatelier.

toutes les directions au moyen de la *pompe foulante à main*.

L'extrait de tan se prépare en mettant 15 kil. de tan dans une cuve de 300 litres, à froid. Au bout de vingt-quatre heures, on fait bouillir l'eau à l'aide de la vapeur d'une machine fixe des ateliers; on laisse refroidir et digérer le tout vingt-quatre heures encore; on filtre à travers une grosse toile et on met en tonneau, jusqu'à l'emploi. Le bas prix de l'écorce de chêne, en Allemagne, rend ce système très-bon. En France, l'extrait de tannin de Bevenot était encore trop cher; puis son mode de préparation était loin d'être aussi économique que celui qui précède.

1074. *Cylindre*. — Le cylindre est une pièce annulaire de fonte, alésée pour recevoir le piston qui va et vient dans toute sa longueur. Il est fermé à l'arrière par un fond fixe ou mobile, à travers lequel passe la tige du piston, et à l'avant par un plateau mobile boulonné; les deux lumières d'introduction viennent aboutir aux deux extrémités du cylindre; leur prolongement est presque toujours marqué sur le fond et les côtés du cylindre, afin de réduire le plus possible l'espace nuisible aux bouts de la course.

La *boîte à vapeur, son couvercle* et l'origine du départ de vapeur font partie du cylindre.

Leur forme extérieure et celle des pattes qui les lient au dedans ou au dehors du châssis varient beaucoup.

Les cylindres sont généralement placés au delà du corps cylindrique de la chaudière, dans la boîte à fumée, ou au-dessus et au-dessous de cette boîte. Dans les machines Crampton, les cylindres sont placés horizontalement, de part et d'autre, du corps cylindrique, entre les roues du milieu, qui sont alors des roues portantes: ils ont alors leurs tiroirs inclinés.

Ce qui est important, c'est un ajustement très-solide des cylindres au bâti, une visite très-facile des tiroirs, et un échappement de vapeur direct et court.

Les machines qui ont leurs cylindres entre les deux roues d'un même essieu, c'est-à-dire en dedans des rails, ont un peu plus de stabilité que celles qui ont les cylindres en dehors.

Les cylindres ont de 20 à 25 millimètres d'épaisseur et des

côtes annulaires en dehors; il faut pouvoir les aléser plusieurs fois, ce qui exige une épaisseur de fonte assez grande.

Les plateaux sont minces, afin qu'ils se rompent en cas d'accident au piston, et qu'ils sauvent ainsi le cylindre et les graves réparations qui seraient nécessaires.

Comme nous l'avons dit pour les machines à deux cylindres, il est d'une haute nécessité que les deux cylindres d'une locomotive, et toutes les pièces du mécanisme moteur, soient parfaitement parallèles et dans le même plan.

En Allemagne, les cylindres extérieurs sont presque seuls employés; ce qui présente de nombreux avantages :

1° L'essieu coudé, difficile à faire et rompu fréquemment, est supprimé;

2° La course du piston et la puissance de traction peuvent être beaucoup augmentées;

3° Une grande partie du mécanisme et la pompe alimentaire surtout sont en dehors faciles à visiter pendant la marche même. Le reste du mécanisme est aussi à la main; et le graissage est partout très-aisé à faire, même celui des tiroirs et des pistons, dont l'huile ne peut plus être carbonisée par la chaleur du foyer;

4° Le centre de gravité de la locomotive peut être abaissé.

Les cylindres horizontaux sont les plus commodes pour la disposition du mécanisme, et ils permettent de mettre les tiroirs verticaux, ce qui est avantageux pour la distribution, dont la commande est alors directe, et pour l'application de la détente variable.

Jusqu'à présent, tous les cylindres de locomotives sont enveloppés seulement de fonte, de bois ou de métal; mais M. Polonceau a fait, le premier, des cylindres avec une chemise remplie de vapeur, qui doivent donner des résultats économiques remarquables, comme consommation de combustible.

La *boîte du tiroir* doit être assez grande pour que le tiroir ne gêne pas la vapeur dans son mouvement. La *table* sur laquelle glisse le tiroir, et qui comprend les orifices des lumières, doit

être parfaitement dressée et rodée; le couvercle est fixé par des boulons; ses lumières ont à peu près $1/10$ de la surface du piston, celle d'échappement est le double des autres; il faut réduire le plus possible leur longueur, pour éviter les frottements et l'espace nuisible, où la vapeur se perd à chaque course.

1075. *Robinets purgeurs et graisseurs.* — Les robinets purgeurs en bronze, de 15 ou 20 millimètres de diamètre, servent à évacuer l'eau de condensation qui s'amasse dans les cylindres, pendant le stationnement, ou qui est entraînée par la vapeur. Placés au nombre de deux sur chaque cylindre, aux points extrêmes de l'espace nuisible de la course, ils sont munis de manettes et commandés par un arbre commun; des manivelles et des bielles, un levier spécial et une tringle à la main du mécanicien, leur transmettent le mouvement.

Les robinets graisseurs sont placés sur les couvercles d'avant des cylindres, ou sur le couvercle de la boîte du tiroir, quand les tiroirs sont au-dessus des cylindres.

Dans le premier cas, ces tiroirs sont graissés par l'huile qui a servi pour les cylindres et que la vapeur entraîne. Dans le second, c'est le contraire: il vaut mieux avoir deux robinets indépendants: les robinets à double boisseau permettent de graisser en marchant.

1076. *Des pistons.* — Les pistons de locomotives sont, comme tous les pistons de machines à vapeur, composés d'une tige, de deux plateaux fixés sur la tige, et de segments métalliques appliqués, à frottement doux, sur les parois du cylindre, au moyen de coins et de ressorts, ou par leur propre élasticité. Ces pistons doivent être légers, pour que leur poids ne fasse pas fléchir la tige quand ils sont au bout de leur course.

En parlant de la construction des pistons des machines fixes, nous avons donné (tom. II, pag. 163) des détails complets sur la composition et l'ajustement des meilleurs segments.

Le piston est fixé très-solidement sur sa tige; sans cela, sous l'action d'une vitesse qui dépasse souvent $3^m,50$ par seconde, et de changements de direction très-rapides, il prendrait bien vite du jeu et donnerait des coups violents et dangereux.

La tige présente un renflement qui a diverses formes, qui est venu de forge, et sur lequel s'appuie chacun des plateaux, reliés entre eux par des boulons. Le piston est ainsi mobile autour de sa tige, ce qui permet de le changer de temps en temps de position, pour éviter l'ovalisation du cylindre, et ce qui permet aussi de vérifier l'état du serrage sans rien démonter.

Pour empêcher les plateaux de porter sur la partie inférieure des cylindres, on place l'un des segments qui sont alors d'un seul morceau, de manière que sa plus forte épaisseur 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. Pour que les écrous des boulons qui réunissent les plateaux ne se desserrent pas, on ajuste sur le piston une feuille de tôle fixée par des vis ou par une goupille carrée, ajustée au bout de la tige du piston, et dans laquelle sont découpés les passages des écrous, qui sont ainsi maintenus invariablement.

Les tiges de piston varient de 4 à 7 centimètres; elles doivent être parfaitement cylindriques dans toute leur longueur, sans quoi l'étaupe qui garnit les stuffingbox serait à tout moment arrachée et laisserait perdre de la vapeur.

En pratique, on peut compter la résistance réduite qu'il faut appliquer, pour le fer, par centimètre carré, à 560 kil., et, pour l'acier, à 1,000 kil. Avec ces bases, on déterminera facilement les dimensions des tiges de piston, en divisant la charge maximum du piston à 7 ou 8 atmosphères et en centimètres carrés, par le chiffre qui représente l'effort que le fer ou l'acier ne doivent pas dépasser, selon que sa tige est en fer ou en acier.

1077. *Des glissières ou guides du piston.*— Comme dans toutes les machines, la tige du piston s'engage dans une tête nommée *coquille ou crosse du piston*, qui glisse entre des *guides métalliques*; celles-ci maintiennent rectiligne la marche de la tige et de son piston, contre le tirage oblique de la manivelle. La tige du piston se termine par un tronc de cône solidement chassé dans un trou pareil de la crosse, qui est en fer forgé, et avec laquelle il est lié par une forte clavette goupillée, pour prévenir tout recul de la clavette.

Le tracé que nous donnons ici (*pl. 38, fig. 97*) est bon, parce que le point d'attache de la bielle correspond au milieu des patins de la coquille; et toutes les pièces, *tige de piston, bielle et patins*, s'appliquent sur un seul arbre, autour duquel elles sont mobiles, et, en cas d'usure, les patins ne détruisent pas trop vite les glissières. Les *patins* ou *coulisseaux* qui frottent sur les glissières sont indépendants et rapportés à vis.

De la perfection de montage de ces pièces dépend la durée de toutes celles qui y sont liées.

Les deux glissières sont l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la coquille du piston qu'elles embrassent; elles consistent en deux règles en acier parfaitement dressées et fixées sur des cornières, ou sur deux fortes barres d'acier ou de fer trempé en paquet qui sont fixées par une extrémité sur le presse-étoupe du cylindre, et de l'autre, à des supports en fer forgé.

Dans les locomotives de M. Borsig, de Berlin, les glissières des pistons sont quadruples et embrassent un *coulisseau mobile*, qui remplace avec avantage les *crosses de piston* ordinaires.

1078. *Transmission du mouvement.* — La pression motrice de la vapeur, développée sur le piston, est transmise à l'essieu moteur et aux roues motrices par la bielle ou bielle motrice. Quand il faut 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.

1079. *Essieu moteur.* — L'essieu est droit ou eoudé. Dans le premier cas, la machine a ses cylindres placés extérieurement. L'essieu est calé par ses bouts sur les moyeux en fonte ou en fer des roues motrices, sur lesquelles est un renflement en forme de manivelle, percé d'un trou dans lequel est ajusté de force, à la presse hydraulique, le bouton de la manivelle, dont l'extrémité est refoulée dans une cavité annulaire préparée exprès pour le recevoir. Les deux moyeux doivent être calés de manière que les rayons qui vont au centre des boutons de manivelle soient perpendiculaires entre eux (*pl. 39, fig. 44*).

Ce bouton est en fer trempé en paquet. Les machines à cylin-

dres intérieurs ont des essieux coudés; celui-ci est d'un seul morceau (*fig. 43*), et composé de deux manivelles reliées par un tourillon. On les forge d'abord avec les deux manivelles dans le même plan, puis on les chauffe et on les tord jusqu'à ce qu'elles fassent entre elles un angle de 90°.

Le diamètre des essieux moteurs varie de 0^m,14 à 0^m,18, suivant la puissance des machines. Dans les essieux coudés, la manivelle, c'est-à-dire le tourillon et les deux bras sont au moins aussi forts que le corps de l'essieu, l'essieu coudé fatiguant d'une manière tout exceptionnelle, sous les efforts alternatifs des bielles.

1080. *Bielles motrices*. — Elles doivent avoir au moins, en longueur, cinq fois le rayon de la manivelle. Il y a des *bielles droites* et des *bielles à fourches* : les premières sont formées d'une barre de fer forgé rectangulaire, reliée d'un bout au bouton de la manivelle de l'*essieu moteur* par sa *grosse tête* de bielle, et de l'autre par sa *petite tête* ou boulon de la crosse du piston (*pl. 39, fig. 100*).

Leur épaisseur diminue de la grosse tête à la petite, et une surépaisseur est nécessaire près de la manivelle.

Les *bielles à fourches* ont du côté de la petite tête deux branches parallèles qui embrassent la coquille du piston; elles simplifient les supports des glissières et diminuent le porte-à-faux de la coquille : leur plus grande difficulté d'ajustement disparaît en remplaçant les coussinets par des trous qui reçoivent le boulon d'attache de la bielle (*fig. 101*). Toutes les têtes de bielles ont leurs coussinets en bronze; les grosses têtes de bielle, pour essieux coudés, sont à *chape mobile*.

Stéphenson a remplacé la chape par un étrier en fer qui embrasse les deux coussinets et les maintient appuyés sur le corps de la bielle et qui présente deux oreilles sur lesquelles s'appuient des écrous de serrage, vissés sur les bouts de l'étrier; disposition qui exige moins de hauteur, pour la manivelle, sur la chaudière.

Les vis et les écrous employés dans le mécanisme doivent être tous solidement assujettis. On passe des goupilles fendues à travers les écrous, ou un double écrou appelé *contre-écrou*; quelque-

fois l'écrou est taillé en rochet à sa base, avec un ressort ou frein en acier, pour prévenir tout desserrage spontané; les clavettes sont fixées par des goupilles ou des contre-clavettes, ou fendues au bout; la grosse tête de bielle doit toujours porter un *godet graisseur*, muni d'une mèche en coton; un trou percé dans le dessus de la chape suffit souvent pour la petite tête.

1081. *Bielles d'accouplement*. — Quand on a besoin d'augmenter l'adhérence, en accouplant les roues motrices avec une ou deux des autres paires de roues, on donne à toutes les roues le même diamètre; si la machine a ses cylindres extérieurs, on ajuste sur les moyeux des roues motrices un bouton à deux tourillons, dont l'un reçoit la *bielle motrice*, l'autre celle d'*accouplement*. Celle-ci se place entre le moyeu et la bielle motrice, qui doit être assez éloignée de la roue. Quand la machine est à cylindres intérieurs, le moyeu des roues motrices doit être fait en manivelle et recevoir un bouton, comme les autres roues accouplées. Le rayon des manivelles d'accouplement est ordinairement plus petit que celui des manivelles motrices (*p. 39, fig. 102*).

Les bielles d'accouplement sont solidaires ou indépendantes. Chaque système a des avantages distincts. Les emmanchements de leurs têtes sont toujours à *chape fermée*, garnie de coussinets en bronze, avec clavettes en acier fixées par des vis de pression, une contre-clavette, ou des goupilles; elles sont aussi toujours munies de *graisseurs à siphon* et presque toujours renflées au milieu. C'est à la forge que ces bielles, comme toutes les pièces qui fatiguent, doivent être amenées le plus près possible de leur forme définitive; l'outil ne doit enlever que peu de chose. Le polissage de toutes ces pièces est nécessaire pour découvrir les fentes qui s'y produisent.

Sur les chemins de fer dont les courbes ont de petits rayons, on fixe aux châssis des pièces de fer qui empêchent les bielles motrices de heurter contre terre quand elles se brisent, ce qui a lieu assez souvent.

1082. *Du frein*. — Le frein du tender sert à détruire la vitesse acquise de la machine et du convoi, quand on en a besoin: il se

compose de leviers, de vis et d'engrenages, à l'aide desquels le chauffeur qui accompagne le mécanicien presse des sabots en bois sur la circonférence des roues. Les pièces sont calculées pour qu'un homme, par son poids ou par l'effort de ses bras, détermine un frottement supérieur à l'adhérence des roues, dont le mouvement de rotation est ainsi détruit, et qui glissent sur les rails, ce qui, en même temps que la machine cesse de fonctionner, produit un frottement très-considérable, détruit par degrés la quantité de mouvement dont le train est animé, et l'arrête.

Quelquefois la roue continue à tourner malgré le frottement des sabots; mais la vitesse du convoi ne s'en détruit pas moins rapidement.

La disposition de frein la plus ancienne, la plus simple et la meilleure, est celle-ci (*pl. 41, fig. 113 et 114*). Une tige verticale filetée en haut 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 et de haut en bas, par le mouvement de rotation que le chauffeur imprime au volant; elle porte au bas deux bielles, attachées chacune à l'un des deux sabots, qui sont suspendus par une articulation au châssis du tender. Quand on fait tourner le volant de gauche à droite, les sabots s'écartent et pressent sur les roues, jusqu'à ce que le frottement soit en équilibre avec l'effort du chauffeur. Pour ne pas fatiguer les plaques de garde et les boîtes à graisse, on place extérieurement aux roues un second sabot, relié par des tringles de fer au sabot intérieur de l'autre roue.

Ce système, très-simple, développe une puissance de frottement considérable, quand les bielles sont presque horizontales, et alors on doit prendre garde de monter des sabots trop épais, quand on les change. Quoique le système exige une assez grande précision dans le proportionnement des pièces, la flexibilité des pièces de fer y remédie en grande partie, et il y a toujours au moins un sabot qui travaille.

Quant à la différence de flexion du châssis, due à la différence de charge du tender, qui influe sur les leviers du frein, elle n'a pas d'importance, parce qu'en général les ressorts qui soutiennent les tenders n'ont pas la flexibilité de ceux des voitures.

Pour calculer les proportions de travail d'un frein, on peut adopter les bases pratiques suivantes :

L'effort d'un homme agissant sur une manivelle est de	kil. 23
Coefficient des frottements des roues sur les rails,	0,20
Do des sabots sur les roues,	0,30

Il est très-important de rafraîchir souvent la surface frottante des sabots, pour que le frottement conserve toujours son maximum de puissance, et que le sabot ne porte pas sur la partie extérieure de la roue et ne la polisse pas, ce qui exige ensuite un effort bien plus grand. Il faut nécessairement les changer, dès qu'ils sont trop usés.

On appréciera mieux l'effet produit par le frein qui transforme le mouvement de rotation en glissement du fer sur du fer, quand on saura que la résistance, dans ce dernier cas, est égale au dixième de la charge; tandis qu'avec des roues tournant sur des rails, elle est égale seulement au centième de la charge. Dès qu'un train qui représente un poids de 200 tonnes est enrayé, la résistance, qui était de 2 tonnes quand le train roulait, devient de 20 tonnes.

En Allemagne, les dispositions sont presque partout les mêmes avec deux sabots par roue.

1083. *Frein Laignel* (1). — Dans le plan incliné d'Aix-la-Chapelle, qui a 2,259 mètres de longueur, les trains sont montés par deux machines à vapeur fixes de 200 chevaux ensemble et qui agissent sur un câble en fil de fer et sans fin. Les trains doivent comprendre un wagon-frein par cinq voitures chargées ou par dix voitures vides. Les wagons-freins à traîneau ont été copiés sur ceux du plan incliné de Liège, et sont munis de l'excellent

(1) *Chemins de fer de l'Allemagne*, par Lechatelier.

système de frein de M. Laignel. Entre les roues, sont placées des espèces de sabots armés d'une pièce de fer, dont la section est pareille à celle d'un bandage de roue; des manivelles à vis permettent de presser fortement ces sabots sur les rails, et de transformer le mouvement de rotation des wagons en mouvement de glissement, sans endommager en rien les roues.

Ces freins permettent de graduer le frottement à tous les degrés nécessaires et même de soulever les roues au-dessus des rails. Les freins du plan incliné d'Aix-la-Chapelle sont à six roues et à quatre sabots, manœuvrés deux à deux par une même vis; il y a deux garde-frein sur un wagon.

On a remonté en une année 24,530 wagons, représentant un poids brut de 140,000 tonnes. Le plan incliné de Liège, qui est tout semblable, est desservi par le même système de freins, et depuis un grand nombre d'années, avec quelques ruptures du câble, il n'y a pas eu un seul accident, à un wagon ou à un voyageur.

Tous les trains descendent conduits par des wagons-freins seulement. Les locomotives de la Compagnie du chemin de fer le Victor-Emmanuel sont munies d'un frein Laignel.

Distribution de vapeur.

1084. *Avance et détente variable de Stephenson et appareil de changement de marche.* — Nous avons dit, en parlant du réglage des tiroirs des machines fixes (829 à 850), quelles sont les dispositions mécaniques qui servent à admettre la vapeur dessus et dessous le piston, au moyen d'une glissière et d'un excentrique calé sur l'arbre de la manivelle, ou commandé par des engrenages qui y sont ajustés; nous avons dit que quand l'excentrique était au bas ou au haut de sa course, la manivelle devait être horizontale en dedans ou en dehors, suivant que la machine marche en dedans ou en dehors. Dans cette position, le piston est au milieu de sa course et les tiroirs au bout de la leur.

Quand, au contraire, le piston est au bout de sa course, c'est-à-dire à son *point mort*, la manivelle est en haut ou en bas, et l'excentrique et le tiroir sont au milieu de leur course; les ouvertures d'entrée et de sortie de vapeur sont alors fermées. Il est évident que, dans cette dernière position, si le piston d'une machine fixe n'était pas entraîné par le volant qui lui fait recommencer une autre course; si le piston d'un des cylindres de locomotive n'était pas entraîné par le piston de l'autre cylindre, qui est alors au milieu de sa course, la manivelle d'un cylindre étant toujours à angle droit avec celle de l'autre, et s'il n'était pas entraîné aussi par la vitesse acquise de la locomotive elle-même et du convoi; il est évident, disons-nous, que les deux machines s'arrêteraient à leur point mort.

Pour que le piston d'une machine accomplisse ses révolutions régulièrement et sans choc, et pour que le volant ou la vitesse acquise lui fassent passer sans hésitation son point mort, il faut qu'au moment où il a fini la course descendante, par exemple, et où il est prêt à commencer la course ascendante, le tiroir ait déjà fait un mouvement en avant; il faut que la communication soit déjà ouverte à la vapeur, entre la boîte de distribution et le dessous du piston, par l'intermédiaire de la lumière inférieure, c'est-à-dire que le tiroir, dans son règlement, doit être un peu en avance sur le piston et sur la manivelle: ce qu'on obtient en réglant l'excentrique un peu en avant de la position qu'il aurait à occuper, s'il n'y avait pas d'avance à donner.

Nous avons insisté longuement (2^e vol., p. 192) sur l'importance de cette avance, qui permet à la vapeur d'arriver derrière le piston un peu avant qu'il ait terminé sa course: conditions qui rendent doux et facile le départ du piston en sens contraire.

Le système de distribution de vapeur par des tiroirs est le même dans les locomotives, si ce n'est qu'outre l'avance à l'introduction, il y a encore d'autres conditions très-importantes à remplir.

1085. *Appareil de changement de marche. Principe.* — La première de toutes, comme l'a fait, le premier, Hawthorn, est que la

machine puisse à volonté marcher en avant et en arrière : ce qu'on obtient aujourd'hui sur les locomotives, comme sur la plupart des steamers, en ajustant sur l'essieu ou sur l'arbre moteur deux excentriques, dont l'un sert pour la marche en avant et l'autre pour la marche en arrière. Avec la glissière variable trouvée en 1843 par Stéphenson et adoptée presque partout aujourd'hui, la distribution se fait par un seul tiroir mis en communication, à la volonté du mécanicien, avec l'un ou l'autre des excentriques, suivant qu'il veut que la machine marche en avant, ou en arrière. Les divers systèmes employés pour mettre l'un ou l'autre des excentriques en communication avec le tiroir permettent au mécanicien de faire varier, dans de grandes limites, pendant la marche, la longueur d'introduction de la vapeur sur les pistons, c'est-à-dire de régler à la main la détente, suivant qu'on a besoin de plus ou moins de puissance, dans un moment déterminé.

Nous donnerons plus loin la description de ce système de commandes variables de tiroirs.

1086. *Recouvrement intérieur et extérieur des tiroirs.* — L'avance à l'introduction, qui sert à obtenir à volonté la plus grande détente possible, en fermant de bonne heure la communication de la vapeur avec le piston et laissant celui-ci achever sa course, sous l'action seule de la vapeur qui se détend, doit être combinée de manière à permettre à la vapeur de s'échapper un peu avant la fin de la course du piston, afin de diminuer la résistance derrière le piston; et comme l'avance à l'expulsion doit être bien plus grande que celle à l'introduction, on donne aux excentriques, sur l'essieu moteur, le plus d'avance que l'on peut, avance qui s'élève à 30 degrés; et pour diminuer un peu l'avance à l'introduction, on donne du *recouvrement extérieur*, en allongeant l'extrémité de la bande du tiroir.

On réalise ainsi en même temps, les principales conditions nécessaires à la bonne et économique marche d'une locomotive; car on peut, toutes les fois que les conditions normales de la marche le permettent, fermer de très-bonne heure l'introduction de vapeur, c'est-à-dire marcher avec une grande détente,

qui seule donne un travail économique pour le combustible; et en même temps, l'échappement de la vapeur se fait avec la plus grande facilité possible, ce qui augmente beaucoup la puissance du moteur, à dépense égale de vapeur.

Il y a encore une condition nécessaire au plus parfait fonctionnement des locomotives que ce système permet de remplir, c'est de fermer l'orifice d'échappement de vapeur un peu avant la fin de la course du piston, après l'avoir laissé ouvert depuis un temps assez long pour amortir l'arrivée d'un piston qui marche à 200 tours par minute, et souvent à 3^m,50 et 4 mètr. de vitesse par seconde, afin de rendre plus rapide et plus doux son départ en sens contraire. On obtient cet effet par l'action du recouvrement extérieur qui ferme en avance la lumière d'échappement. Les effets de contre-pression qui en résultent peuvent être augmentés en donnant du *recouvrement intérieur*, c'est-à-dire en augmentant un peu la largeur de la bande du tiroir.

Dans presque toutes les locomotives, les tiroirs sont placés verticalement sur le côté du cylindre, et la tige du tiroir commandée directement par l'excentrique. Lorsque la transmission du mouvement a lieu ainsi directement, sans l'intermédiaire des leviers, chaque excentrique doit être calé de façon que le rayon d'excentricité précède le rayon de la manivelle dans le mouvement de rotation commun. Le contraire a lieu quand la transmission s'opère par des leviers qui renversent le mouvement. Les deux excentriques de la marche en avant et de la marche en arrière sont toujours opposés.

1087. *Excentriques* (pl. 40, fig. 107). — Les excentriques sont composés d'une pièce en fonte, dite *poulie d'excentrique*, venue en deux parties et calée par des clefs en acier, ou par des vis, sur l'essieu moteur, et d'un collier mobile en bronze, ajusté en deux pièces, rodé sur la poulie et d'une forme qui ne lui permette pas d'échapper latéralement, dans le mouvement de rotation de la poulie. Ce collier, venu avec une patte à collerette, est boulonné sur les barres d'excentriques, ce qui permet de rectifier un ajustement fatigué.

Les *barres d'excentriques* sont à pieds de biche, ou droites. Comme on les emploie toujours avec la coulisse de Stéphençon, les dernières, dont nous donnons le tracé, *fig. 106*, sont terminées à un bout par une fourche; elles sont en fer forgé de 8 ou 9 centimètres à une extrémité et de 5 à 6 à l'autre, avec 15 ou 20 millimètres d'épaisseur. Ces barres viennent se fixer aux deux bouts d'une pièce spéciale nommée *coulisse*, et qui peut à volonté être élevée ou abaissée avec les barres d'excentriques, au moyen d'un système de leviers manœuvré directement par le mécanicien, et dont nous donnons un exemple (*pl. 40, fig. 105*). Cette coulisse met la tige du tiroir alternativement en rapport avec l'excentrique de la marche en avant et avec celui de la marche en arrière, sans occasionner de choc, comme font les *pieds de biche*; le *bouton d'enclanchement* est remplacé par un *coulisseau* toujours lié à la tige du tiroir.

1088. *Appareil de changement de marche. Description.* — On trouvera ici le tracé complet d'un appareil de changement de marche, avec les deux excentriques, la coulisse et le tiroir qu'il commande, et qui appartient à une machine du chemin de fer du Nord. Cet appareil est un des plus simples, et il permettra de bien comprendre le système.

• Le *levier de changement de marche* (*fig. 108*), ordinairement muni d'une manette pour la facilité de la manœuvre, est toujours placé à la main du mécanicien. Il fait marcher une *barre de relevage* fixée sur l'*arbre de relevage* ou de *transmission*, et agit sur les barres d'excentriques par l'intermédiaire de leviers dont l'un est relié au *coulisseau* qui commande le tiroir, et l'autre porte à son extrémité un contre-poids destiné à équilibrer les pièces qui ne le sont pas. Pour que le levier de changement de marche puisse rester invariablement fixé dans la position où le met le mécanicien, malgré tous les ébranlements de la locomotive et de la voie, ce levier court devant une pièce ordinairement demi-circulaire, qui présente un grand nombre de dentelures, dans chacune desquelles le mécanicien accroche, à volonté, son levier de relevage.

On voit que les deux barres d'excentriques sont fixées aux deux bouts de la coulisse par des boulons; les deux excentriques devant être reliés à la même coulisse, on place celle-ci en regard de l'excentrique de la marche en avant, l'autre barre d'excentrique a une branche qui est rejetée sur le côté pour se relier à l'autre bout de la coulisse.

Quand on relève la coulisse au moyen du système de changement de marche, de manière que le coulisseau, relié à la tige du tiroir, soit au milieu de la coulisse; le tiroir, commandé comme par deux leviers égaux, n'a plus qu'un mouvement presque nul; et si le tiroir a au moins 0,045 de recouvrement total, les ouvertures de vapeur sont entièrement fermées, condition importante pour que dans les stationnements la machine ne parte pas toute seule.

Quand, au contraire, le coulisseau est à un des bouts de la coulisse, le tiroir est à son maximum de course, la vapeur est admise pendant la course entière du piston, et il n'y a aucune détente; lorsque enfin on met le coulisseau à un point intermédiaire entre le milieu et l'extrémité de sa course, alors le tiroir ferme de bonne heure les passages de vapeur, et le piston est forcé d'achever sa course sous l'action de la vapeur qui se détend. Il y a alors *détente*. Il est donc facile au mécanicien de faire varier le degré d'introduction de vapeur, depuis la course entière du piston, jusqu'à une détente très-grande qui permet de réaliser des économies considérables de combustible, par l'emploi d'une très-grande détente, pendant les trajets, tout en conservant la possibilité de marcher à pleine pression, sans détente, toutes les fois que le besoin l'exige.

La coulisse ainsi que les bouts des barres d'excentrique, ainsi que les pièces de ce mouvement, doivent être aciérés et trempés en paquets, pour résister à l'usure due au frottement. On ne doit jamais craindre de donner à toutes ces pièces beaucoup de force; les tourillons d'attache des bielles et des barres ne doivent pas avoir moins de 35 ou 40 millimètres d'épaisseur.

Le levier de changement de marche est ordinairement une

barre droite, mi-plate et assez longue pour qu'un seul homme opère le changement de marche ; il a jusqu'à 4 mètres de longueur ; il est muni d'une manette. Le *secteur* ou *rochet* est formé de deux barres de fer cintrées, qui embrassent le levier et lui servent de guide, ou par un seul arc qui passe dans une douille attachée au levier et qui le guide. Cette pièce porte des encoches correspondantes aux points où le levier doit être fixé à l'aide d'un verrou muni d'un ressort ; l'axe de rotation de ce levier, qui est un gros bouton en fer de 5 à 8 centimètres de diamètre, est mieux fixé au châssis qu'à la chaudière.

1089. *Tiroirs*. — Les tiroirs (*pl.* 38, *fig.* 96) sont en bronze, ou en fonte qui exige plus de graissage, mais qui donne de plus belles surfaces de frottement et dure plus longtemps. Quand les tiroirs sont horizontaux, leur poids et la pression de la vapeur suffisent pour les maintenir. Quand ils sont verticaux ou inclinés, ils sont portés sur une rainure pratiquée sur la boîte du tiroir, et retenus par le cadre qui les enveloppe et par deux tiges, celle du tiroir et une fausse tige fixée au cadre, et glissant dans une autre presse-étoupe. Le tiroir doit, en effet, pouvoir se soulever un peu pour laisser passage à l'eau ou à l'air refoulé par le piston. L'intérieur du tiroir est arrondi aux angles pour la plus grande facilité du passage de la vapeur qui s'échappe au dehors.

Le cadre ou guide qui embrasse le tiroir est en fer forgé et soudé à la tige, qui est en acier. Quand la transmission est directe, le coulisseau en acier trempé prolonge toujours la tige du tiroir et la relie à la coulisse.

Le coulisseau est souvent formé d'un bloc en deux parties, qui embrasse les branches de la coulisse par des saillies latérales, et qui est emmanché avec la fourchette du guide par un boulon. Au moyen de ces dispositions et du jeu conservé dans les pièces, il est facile de régler exactement la position du tiroir au point mort et de rectifier des erreurs de proportions ou d'usure.

1090. *Application de la coulisse à la détente variable*. — C'est la coulisse qui sert à opérer le changement de marche et que l'on emploie aussi pour produire une *détente variable*. La coulisse,

d'une seule pièce circulaire, est liée directement aux deux barres d'excentriques.

La course du tiroir varie avec la position du coulisseau : elle est au maximum quand le coulisseau est à l'un des bouts de la coulisse, et au minimum quand il est au milieu. Outre les courses inégales du tiroir qui sont l'effet de l'emploi de la coulisse, on obtient de plus une variation dans le rapport entre la marche du piston et celle du tiroir, fait qui donne à la coulisse les propriétés d'un appareil de détente. Il est donc certain que le coulisseau est un appareil propre à produire la détente, que le volume de vapeur introduit dans le cylindre, ainsi que le temps de l'introduction, diminue avec la longueur de la course du tiroir, et que, par suite, la détente se produit de manière à pouvoir la pousser depuis $1/7^e$ jusqu'à $2/3$ et même $4/5^es$ de la course, quoique la distribution devienne très-inégale quand la détente est trop grande.

Ce système de distribution est d'ailleurs loin d'être parfait : il donne peu d'égalité dans la distribution entre les deux cylindres et les deux demi-courses ; mais il n'en rend pas moins d'immenses services, et comme appareil de changement de marche et comme appareil de détente variable.

Les auteurs expérimentés du *Guide du constructeur de locomotives* donnent comme spécimen d'une distribution normale, avec faible détente, la distribution des machines à voyageurs du chemin de fer du Nord, qui présente :

Avance linéaire à l'admission,	mèt. 0,005
Id. à l'échappement,	0,028
Introduction de la vapeur,	0,438
Détente,	0,122
Compression,	0,042
La course du piston est de	0,560

Il y a, du reste, deux systèmes de *détentes variables* : celles à un tiroir, qui comprennent la détente de Cabry ; celle de Sharp-Robert et celle de Stephenson, et celle à deux tiroirs, comme

celles de Meyer, de Hawthorn, de Borsig (de Berlin) et d'Angalé.

1091. *Des boîtes à sable.* — On emploie sur presque tous les chemins de fer de l'Allemagne des boîtes à sable qui servent pour verser du sable sur les rails, quand ils sont gras ou humides, ou couverts de neige et de verglas. Ces appareils fonctionnent parfaitement, quand ils sont bien entretenus et que le sable est très-sec; on en fait un bon usage au chemin de fer du Nord de France.

Pour que le tuyau qui conduit les grains de sable sous les roues motrices, très-près de leur point de contact avec les rails, ne s'engorge pas, il est alimenté par un petit trou d'un centimètre de diamètre, percé dans le fond en tôle de la boîte à sable, et intercepté ou réglé, soit par un papillon excentrique, soit par un robinet. Il y a une boîte à sable sur chaque côté de la machine.

1092. *Tiroirs équilibrés de M. Jobin, mécanicien à Saint-Mandé (Seine).* — Tous les hommes qui se sont occupés de la construction ou de la conduite des machines à vapeur, et surtout des locomotives, savent quelle énorme charge ajoute au travail brut développé par les machines la pression de $6 \frac{1}{2}$ atmosphères, adoptée aujourd'hui dans les machines fixes à grande détente, et celle de 8, à laquelle sont portées les locomotives, ajoutée aux dimensions et aux courses si grandes qu'il faut donner aux tiroirs, dans les plus puissants appareils, où l'on est forcé d'employer une coquille qui a 0,215 d'un sens sur 0,360 de l'autre, c'est-à-dire 10,24 décimètres carrés, qui sont les dimensions des tiroirs de la machine Crampton, n° 89, au chemin de l'Est. Chaque tiroir résiste comme s'il était chargé de 8,500 kil. ou 17,000 kil. pour les deux ensemble; le rapport du frottement étant ici de 0,15 et la course minimum du tiroir de 0,08 avec trois tours par seconde, le travail dépensé par ce mouvement seul sera de 864 kilogrammètres ou 12 chevaux-vapeur. La résistance énorme qu'éprouve le levier de changement de marche, qui exige un effort de 96 kilogrammes et un travail de 144 kilogrammètres, en rend très-pénible cette manœuvre, qui, dans

des moments de danger, devrait être faite presque instantanément. Cette résistance, si difficile à vaincre, peut amener de graves accidents par suite du retard qu'elle oppose au renversement de la marche.

M. Jobin a trouvé des tiroirs qui sont entièrement équilibrés, et qui, par conséquent, rendent bien plus douce et bien plus facile la manœuvre du levier de *changement de marche*.

Ces tiroirs, appliqués à trois locomotives du chemin de fer de l'Est, ont été, de la part du savant bibliothécaire du Conservatoire des arts et manufactures, l'objet d'un rapport, étudié comme toutes les questions que M. Tresca traite, et inséré au *Bulletin de la Société d'encouragement* en août 1858.

C'est dans ce rapport que nous prenons presque tout ce que nous disons des tiroirs de M. Jobin.

Le tiroir de M. Jobin a beaucoup de rapport avec ceux de Watt, qui sont aussi équilibrés, si ce n'est que l'admission a lieu par les extrémités, et l'émission par le centre du tiroir. Les deux chambres extrêmes sont mises en communication par un canal cylindrique percé dans la longueur du tiroir; l'isolement des chambres est obtenu par le frottement du tiroir sur les parois de la boîte : le contact du tiroir et de la boîte résulte de la juxtaposition des parois fixes de la boîte et des parois mobiles du tiroir, dont la forme est un *prisme triangulaire équilatéral*.

M. Jobin supprime ainsi toute garniture et laisse frotter directement les surfaces métalliques, dans les machines à haute pression, disposition confirmée par l'excellent état d'entretien d'un tiroir Jobin qui a fait six ou huit mois de service dans la locomotive sur laquelle il est fixé; condition que les glissières ordinaires ne réalisent pas.

La forme adoptée pour le tiroir permet de n'avoir que des surfaces planes rabotées, et de régler facilement le degré de serrage, afin d'éviter l'usure que donnerait un trop grand serrage.

Le tiroir Jobin, comme celui de Watt, est équilibré par rapport aux pressions qui peuvent s'exercer tout autour du tiroir, à l'intérieur et à l'extérieur; il ne l'aurait pas été par rapport à la

pression exercée à travers les lumières sur les bandes du tiroir, aucune pression ne venant contre-balancer celle qui était supportée par les garnitures, du dedans au dehors. M. Jobin, pour assurer cette compensation, a pratiqué une rainure transversale dans tout le pourtour intérieur de la boîte, en face des lumières d'introduction avec lesquelles la rainure est toujours en communication, parce que les lumières dépassent un peu les limites latérales des bandes du tiroir; la compensation a donc toujours lieu, même pendant la détente.

De l'emploi pratique de ce tiroir sur la Crampton n° 89, au chemin de l'Est, résulte une bien plus grande *facilité* de renversement de marche et une économie notable de coke, due au travail bien moindre que dépensent les tiroirs.

La pratique a aussi montré qu'aucune rupture n'est encore résultée de ce que les tiroirs, ainsi maintenus, ne se soulèvent pas, pour laisser échapper l'eau qui se condense dans les cylindres, danger peu à craindre dans les locomotives, où la vapeur arrive à une très-haute température et où l'on purge souvent.

M. Jobin donne aussi les mêmes qualités de compensation aux tiroirs ordinaires, en les surmontant d'un toit additionnel qui les transforme en prismes triangulaires; un chapeau ou guide de même longueur les recouvre, fixé à la table par des coins; enfin un couvercle ferme le tout, et le serrage est produit par des vis de pression.

Nous donnons (*pl.* 21, *fig.* 139 à 396) un *tiroir Jobin rectangulaire*, un autre *prismatique*, et enfin un *tiroir à glissières ordinaires*, modifié comme nous l'avons dit plus haut.

Ajoutons à ce qui précède que, dans les machines de Woolf, construites avant qu'on adoptât les glissières, il y avait au petit cylindre un *tiroir cylindrique* évidé dans sa partie moyenne, et qui, comme le tiroir prismatique de M. Jobin, recevait la vapeur par les extrémités, et livrait, par le vide du milieu, passage à la vapeur qui se rendait au grand cylindre. Ces tiroirs cylindriques étaient évidemment entièrement équilibrés.

Ils avaient le défaut de prendre du jeu dans leur boîte circu-

laire, ce qui exigeait leur remplacement assez fréquent; cependant ce système faisait un excellent service, et donnait des ouvertures très-rapides de vapeur et beaucoup de légèreté dans les mouvements.

1093. *Locomotives à marchandises du chemin de fer du Nord, construites au Creusot (système Engerth)*. — Nous avons déjà dit en quoi consistent le principe et les dispositions de construction des *machines Engerth*, et donné le travail fait par une machine de ce système construite à Seraing (Belgique) pour la Compagnie du chemin de fer du Nord.

La locomotive Engerth n° 170, dont nous donnons les plans et toutes les cotes d'exécution, que nous devons à l'ingénieur en chef du matériel, M. Nozo, a été construite par le Creusot, et, comme on le verra (*pl. 29 et 30, fig. 87 à 91*), elle réalise plusieurs perfectionnements très-importants, dus en même temps aux habiles ingénieurs de la Compagnie et à ceux du Creusot.

Dans cette locomotive, la quatrième paire de roues dépend de la machine et le mouvement lui est transmis par une *bielle d'accouplement*; une partie du poids du tender est reportée sur cette quatrième paire de roues, par l'intermédiaire de ressorts et de crapaudines à glissières qui permettent le mouvement du tender. L'arrière de la machine porte sur le tender.

Dans le système Engerth employé au Sœmmering, au contraire, la quatrième paire de roues dépend du tender, le mouvement lui est transmis par des *engrenages en acier* dont nous avons parlé plus haut; l'arrière de la machine porte aussi sur le tender; mais la suppression des engrenages, dont on craignait, non sans raison, l'usure et un mauvais service, et leur remplacement par des *bielles d'accouplement*, que la Compagnie du Nord a réalisé, est un résultat très-important, qui assure à ces puissantes machines un assemblage tout à fait pratique, et dans les conditions les plus parfaites, de la quatrième paire de roues, des roues motrices, et des deux parties du châssis brisé.

On voit très-clairement, dans nos plans, le mode d'assemblage des cylindres avec le premier essieu moteur, et de celui-ci avec

les roues du châssis brisé qui porte une partie du tender, assemblage qui se fait par des *bielles d'accouplement*. On voit comment est construit le châssis brisé qui fait le fond du système Engerth; on voit aussi dans l'élévation les dispositions de la *cou-lisse à détente variable de Stephenson* et la commande des tiroirs : ceux-ci, dans ces puissants appareils, sont équilibrés, pour que la force perdue à les faire marcher ne soit pas si grande; on voit aussi comment, dans ce système, la chaudière et son foyer, qui ont ensemble près de 7 mètres de longueur, reposent en même temps sur le châssis de la machine et sur celui du tender.

Voici les éléments de construction de la locomotive Engerth n° 170.

4094. **Conditions d'établissement.**

Locomotive.

Grille	{	Longueur,	mèt.	1,440	
		Largeur,		1,350	
		Surface,		1,944	
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille, "					
Tubes	{	Nombre,		235	
		Longueur,	mèt.	5,045	
		Diamètre,		0,055	
Surface de chauffe.	{	Épaisseur,		0,0025	
		Foyer,		10,756	
		Tubes,		186,230	
				Totale,	196,986
Diamètre intérieur du corps cylindrique,					1,500
Nombre de cylindres de vapeur disponibles dans le vide de la chaudière, au-dessus de l'eau,					19,300
Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus des rails,					1,970
Tension de la vapeur,				atm.	8
Diamètre des cylindres,				mèt.	0,500
Course des pistons,					0,660
Lumières	{	Longueur,	{	Entrée,	0,350
				Sortie,	0,045
Pompes alimentaires.	{	Largeur.	{	Diamètre,	0,090
				Course,	0,072
					0,660

Manivelle motrice : rayon,			0,330
Manivelle d'accouplement : rayon,			0,330
Diamètre des roues.	}	1 avant,	1,258
		2,	1,258
		3,	1,258
		4,	1,253
		5,	1,059
		6,	1,059
Écartement des essieux.	}	1—2,	1,300
		2—3,	1,300
		3—4,	1,350
		4—5,	3,050
Poids de la machine.	}	5—6,	1,700
		pleine,	kil. 62,800
		vide,	45,770
Pression des deux roues d'un même essieu sur les rails, au départ. .	}	1 avant,	10,100
		2,	9,200
		3,	9,900
		4,	11,100
		5,	10,900
		6,	11,600

Tender.

Diamètre des roues,		mèt.	»
Écartement des essieux,			»
Contenance en eau,		kil.	8,300
Contenance en coke,			2,000
Poids de l'outillage,			300
Poids total du tender.	}	plein,	»
		vide,	»
Pression des deux roues d'un même essieu sur les rails, au départ,			»
Machine et tender accouplés,			»
Longueur totale de tampon à tampon,		mèt.	13,100
Écartement des essieux extrêmes,			8,700
Distance horizontale des pièces les plus saillantes à l'axe de la voie.	}	Machine,	1,172
		Tender,	»
Distance aux rails des pièces les plus élevées,			4,208
Distance aux rails des pièces les plus basses.	}	Intérieur des rails,	»
		Extérieur des rails,	0,070
Vitesse des trains, stationnements compris, en kilomètres, à l'heure,			24
Poids réglementaire des convois remorqués.	}	Ordinaire,	} tonnes 655
		Maximum,	

Nombre de wagons ou de voitures	} Ordinaire,	} 45
remorqués.		
Allocation réglementaire en coke par	} Ordinaire,	} 20
kilomètre.		
Dépense moyenne de coke,		16,50
Prix de la machine et du tender,		fr. 112000
Effort de traction $\frac{Pd^2L}{D}$,		kil. 9181,20
Adhérence ou poids sur les roues motrices,		40300

1095. *Travail des machines Engerth.* — Voici les résultats du travail donné par les locomotives à marchandises, système Engerth, du chemin du Nord, sur le type duquel est construit le n° 170.

1° Nombre de wagons remorqués en un train,		45
2° Charge utile d'un wagon,	tonnes	10
3° Poids mort moyen d'un wagon,	kil.	4200
4° Charge brute de chaque wagon,		14200
5° Charge brute du train,		639000
6° Charge utile, 450000 kil., ou	tonnes	450
7° Vitesse moyenne par heure, en kilomètres,		24
8° Coups de piston de chaque machine en une seconde,		200
9° Tours de roue en une seconde,		100
10° Dépense de coke par kilo-	} En hiver, kil. 16 } Moyenne, kil. 15,50	
mètre.		
11° Dépense de coke à l'heure.	} En hiver,	} 384
12° Litres d'eau dépensés par kilomètre, environ		120
13° Litres d'eau dépensés par heure, à peu près		2880
14° Eau évaporée par kilogramme de coke sur la dépense moyenne de 372 kil., à peu près		7,742

Cette production doit être réduite de 20 pour 100 seulement, pour l'eau emportée par la vapeur; la capacité réservée pour la vapeur dans la chaudière, et qui est de 20 fois le volume d'un cylindre entier, est beaucoup plus grande proportionnellement que le vide des autres chaudières de locomotives.

La production réelle de vapeur est donc de 6 k. 195.

On voit que cette production est, à peu de chose près, égale à celle que nous avons trouvée précédemment comme production

moyenne nette des meilleures locomotives, et qui est de 5k.90 (I^{er} vol., p. 495); elle lui est seulement un peu supérieure parce que les grandes chaudières sont, comme nous l'avons dit, plus avantageuses pour la production de vapeur.

Comparons maintenant le travail brut fait par la locomotive Engerth n° 170, tel que nous venons de le donner, avec les résultats obtenus par M. J. Poirée, ingénieur des ponts et chaussées, dans des expériences faites sur des trains mixtes au chemin de fer de Lyon, expériences que nous analyserons tout à l'heure et qui prouvent que le travail réel moyen développé par les locomotives employées, sur un trajet entier des trains, essayés entre Paris et Montereau, trains chargés de 103 tonnes, et à une vitesse de 43 kilomètres, est, en moyenne, de 250 chevaux-vapeur.

En prenant pour le tirage par tonne les 11 kilogrammes trouvés par M. Poirée, avec une vitesse de 12 mètres par seconde, tirage trop faible à 6^m,60 de vitesse, puisque le tirage augmente à mesure que la vitesse diminue, on a pour le travail développé par les deux machines de la locomotive Engerth n° 170, dans un trajet moyen, avec 45 wagons, pesant ensemble 639 tonnes, à 24 kilomètres ou à 6^m,60 de vitesse par seconde :

Tirage,	kil. 11 × tonnes 639 =	7029
Travail total,	kil. 7029 × 6 ^m ,60 =	km. 46391
ou chevaux-vapeur	$\frac{46391}{75} =$	613
Vitesse des pistons des deux machines par minute,		tours 200
Course des pistons,		mèt. 0,66
Vitesse par seconde des pistons,	$\frac{0,66 \times 200 \times 2}{60} =$	mèt. 4,40
Dépense de coke par cheval,	$\frac{372 \text{ kil.}}{613 \text{ ch.}} =$	kil. 0,600

Chacun des cylindres de cette énorme machine, à 200 tours de vitesse par minute et à 4^m,40 de vitesse de piston par seconde, donne donc un travail de 300 chevaux-vapeur.

1096. *Réparations des chaudières, nettoyage et lavage des*

locomotives. — M. A. Nozo, ingénieur en chef du matériel au chemin de fer du Nord, a publié, en 1850 (1), un mémoire très-important sur les *entretiens de la partie tubulaire des chaudières de locomotives*, travail dont voici l'analyse :

M. Nozo dit que, sur 25,500 tubes fixés aux 199 locomotives du Nord, 4,000 ont été démontés, réparés ou remplacés, en 1849, et 5,000 en 1850; mais que ces réparations, si considérables et si coûteuses, ne sont pas dues à l'usure des tubes, car, après un parcours de 100,000 kilomètres, les tubes n'ont perdu que $1/6^e$ ou $1/8^e$ de leur poids, la perte des tubes étant double près de la boîte à feu, de ce qu'elle est près de celle de la fumée.

Ce sont les incrustations données par les mauvaises eaux qui détruisent les *tubes* et les *viroles* par lesquelles ils sont fixés dans les *plaques tubulaires*.

Tant qu'un bon procédé de désincrustation n'aura pas été trouvé, cette destruction continuera. Au démontage des tubes, on enlève 0 k. 60 de tartre par mètre courant; c'est pour cela qu'au chemin de fer de Lyon on a établi, près de Melun, une machine à vapeur qui envoie les eaux si bonnes de la Seine à une très-grande distance, pour desservir des stations fort éloignées et où les eaux sont moins pures (216).

Les tubes bien fabriqués et bien montés peuvent faire facilement un parcours de 300,000 kilomètres, mais, pour cela, il faut les démonter après 150,000 kilomètres et les retourner bout pour bout; pour les 199 machines du Nord, en retournant les tubes, on ne doit remplacer par an que 1,800 tubes environ, y compris l'usure et les mises au rebut, pour défaut de qualité ou de façon.

Les essais de tubes en fer n'ont pas donné de bons résultats. Les tubes de locomotives qui sont en laiton ou cuivre jaune doivent être arrondis au laminoir et non pas étirés à la bague; ils doivent être formés de bandes brasées longitudinalement en dedans, avec les croisures des pinces de 6 millimètres, c'est-à-dire de trois fois l'épaisseur, et essayés à 20 atmosphères; leur forme doit

(1) *Journal de la Société des ingénieurs civils de France*, 1850, page 19.

être parfaitement cylindrique et de 50 millimètres de diamètre, sans qu'on voie la soudure aux deux bouts, jusqu'à 8 centimètres des extrémités, et ils ont 2 millimètres d'épaisseur.

Le mètre courant pèse kil. 3,09

Les viroles sont en acier : elles doivent être rigoureusement coniques et parfaitement calibrées, les viroles coniques donnant un ajustement bien supérieur aux viroles cylindriques.

Une virole coûte, fr. 0,30

L'atelier de réparations des tubes, au chemin du Nord, est composé de :

Chaudronniers,	12
Apprentis,	5

Les réparations y sont marchandées et les ouvriers associés ensemble; les bénéfices qu'ils se répartissent augmentent de 15 p. 100 les prix de journées pour lesquels ils entrent dans l'association.

Les tubes reviennent à 2 fr. 52 c. le kilogramme, ouvrés.

Pour réparer le fond d'une chaudière, on chasse d'abord les viroles ou on les arrache après les avoir coupées au burin; on détache ensuite les tubes des plaques tubulaires, en les pliant en dedans, à coups de burin, pour qu'ils échappent aux plaques; enfin on les arrache avec un cordage et un treuil; on les gratte et on les décape dans un bain contenant 1 p. 100 d'acide chlorhydrique et on les lave à l'eau pure, travail qui enlève une grande quantité de tartre.

Quand les tubes sont fatigués, avariés, ou usés, on coupe la partie malade, on raboute les divers morceaux sains ensemble et on les brase avec grand soin, en les changeant autant que possible de bout; on ébarbe alors les soudures à la fraise, travail meilleur et moins cher que celui à la lime; les tubes sont alors dressés et essayés à la presse hydraulique, visités avec soin et envoyés au magasin.

Le montage des tubes est une opération très-délicate : les trous où on les engage doivent être parfaitement cylindriques et mandrinés, pour leur rigoureuse égalité.

Les tubes sont d'abord présentés en place et doivent avoir 8 millimètres de plus à chaque bout ; on les recoupe de longueur, on les recuit avec soin, on les remonte ; les viroles entrent d'un tiers seulement, et sont ensuite chassées à fond au *chasse-virole*.

Si les trous sont trop grands, on y met des bagues qui tiennent très-bien.

En résumé, au chemin de fer du Nord, la partie tubulaire des 199 locomotives a fait, en 1849, un parcours total de :

Kilomètres,	3,828,825
La dépense d'entretien a été de	fr. 680,000
Soit, entretien par kilomètre parcouru,	0,0199

Voici les prix payés à l'atelier de réparation des tubes :

<i>Démontage.</i> Enlèvement des viroles des tubes : par tube,	fr. 0,55
<i>Réparations.</i> Les tubes sont découpés, grattés, coupés, fraisés, raboutés, ajustés et essayés à la presse : par tube,	0,75
<i>Montage.</i> Mise en place et pose des viroles : par tube,	0,55
	Total, fr. 1,85
Démontage et pose des viroles séparément, quel qu'en soit le nombre : par virole,	0,25

L'entreprise est chargée du transport des tubes à l'atelier ; elle répare à ses frais les tubes qui fuient plus tard.

1097. *Nettoyage et lavage des locomotives en service.* — Une note de M. Duportail, ingénieur, inspecteur du matériel au chemin de fer du Nord (1), a traité cette question d'une manière complète, et a comparé le service entre les chemins de fer d'Orléans, de Rouen, du Nord, de Strasbourg et de l'Ouest.

Le travail se divise en trois parties :

1^o Nettoyage du mécanisme ;

(1) *Journal de la Société des ingénieurs civils de France*, 1853.

2° Nettoyage des roues, des surfaces extérieures de la machine et du tender;

3° Lavage intérieur des chaudières.

1098. *Nettoyage du mécanisme.* — Le travail se fait avec des chiffons imprégnés d'huile et d'essence de térébenthine mélangées par moitié, pour enlever la graisse séchée, la poussière et la boue qui adhèrent, ou le cambouis; on se sert de papier à l'émeri ou de papier de verre s'il y a des taches à enlever; on graisse ensuite toutes les pièces pour prévenir l'oxydation.

Les fusées des essieux se nettoient avec de la corde molle, de l'huile et de l'émeri en poudre; quelquefois on démonte les boîtes à graisse et on les lave, avec une brosse de chiendent, dans une dissolution chaude de potasse, qui saponifie rapidement les matières grasses.

Comme nous l'avons dit pour les machines fixes, il faut nettoyer les locomotives au moment de la rentrée, les machines encore chaudes et les matières grasses fraîches étant beaucoup plus faciles à nettoyer.

On se sert de chiffons de couleur, qui sont moins chers que les blancs.

1099. *Lavage des chaudières.* — Ce lavage se fait en détamponnant les machines, c'est-à-dire en enlevant les bouchons placés au bas du foyer et de la boîte à fumée, et introduisant de l'eau à pression avec une lance de pompier, successivement, par un des trous de la boîte à fumée et par un de ceux du foyer; l'eau qui entre par l'arrière-bout de la chaudière sort par le côté du foyer. Pendant ce temps, les laveurs raclent la partie inférieure de la boîte à feu avec des tringles en laiton de 1 mètre de long et de 0^m,15 de côté, terminées par un crochet en retour d'équerre de 0,020 à 0,030, et munies à l'autre bout d'une poignée; ils passent ce crochet par chaque trou du foyer, ce qui détache et entraîne une grande quantité de tartre.

Quand l'eau entre par un trou du foyer, les autres sont bouchés, et l'eau ressort par les trous de la boîte à fumée; on tra-

vaille alors l'intérieur de la chaudière, par ces derniers trous, avec des tringles qui ont la longueur de la chaudière.

Ce sont les chauffeurs qui débouchent les tubes dont nous avons parlé, et dans lesquels passe la fumée.

Au départ et à la rentrée des machines, et dans tous les stationnements un peu longs, ce nettoyage se fait avec des tringles en fer terminées à un bout par une sphère et à l'autre par un trou, où l'on passe une mèche de chanvre plus longue de 50 centimètres que les tubes.

Pour nettoyer les pièces du mouvement, il faut qu'elles soient démontées; les chauffeurs font ce travail en même temps que les menues réparations; ils nettoient aussi la boîte à feu et l'avant du tender, pour qu'on ne touche pas aux outils et aux objets qu'ils y laissent.

Des hommes attachés au dépôt font le nettoyage des corps cylindriques, des longerons, des dehors du tender, des roues et de l'extérieur des chaudières, sous la surveillance du chauffeur, qui est responsable de la propreté du tout.

Presque partout l'allumage des machines, le service des plaques tournantes et les manœuvres du dépôt sont faits par les nettoyeurs, dont le nombre est égal à celui des machines, et que l'on paye, par jour, 2 fr. 75 c.

Les machines sont nettoyées tous les jours et lavées après chaque tour de service, c'est-à-dire après trois ou quatre jours de service continu.

Au chemin du Nord, les barreaux de grille et le coke qui tombent, quand on rentre au dépôt et que l'on jette le feu bas, sont ramassés par des *cokiers* à la tâche : ceux-ci le mettent à l'entrevoie et portent les plus gros morceaux à un four toujours en feu, dans lequel les chauffeurs viennent prendre du coke embrasé pour allumer leurs foyers de locomotives. Partout ailleurs, l'allumage se fait comme nous l'avons dit (297) avec du bois et des chiffons gras.

Le menu coke sert à chauffer les chaudières des machines fixes des dépôts, ou les grilles des salles d'attente.

Les chiffons sales sont lessivés, dans les ateliers de la Compagnie du Nord, à Amiens.

Le chemin de Strasbourg a essayé de faire faire les nettoyages à la tâche, au lieu de les faire à la journée; cette question n'est pas encore résolue.

M. Duportail a rassemblé, dans le tableau qui suit, tous les éléments qui composent le service du nettoyage et du lavage des machines, dans les chemins de fer que nous avons cités plus haut.

4400.

Tableau comparatif du prix de revient de

DÉSIGNATION des ARTICLES.	CHEMIN DE FER D'ORLÉANS, Dépôt d'Ivry.			CHEMIN DE FER DE ROUEN. Dépôt de Batignolles.			CHEMIN DE FER DU NORD Dépôt de la Chapelle.		
	Quantités ou nombre.	Prix de l'unité.	Montant des dépenses.	Quantités ou nombre.	Prix de l'unité.	Montant des dépenses.	Quantités ou nombre.	Prix de l'unité.	Montant des dépenses.
		fr.	fr.		fr.	fr.		fr.	fr.
Nombre de machines en service.	6	"	"	5	"	"	29	"	"
Parcours moyen d'une machine.	242	"	"	190	"	"	240	"	"
Nombre total de kilomètres par jour.	1452	"	"	720	"	"	5520	"	"
Nettoyeurs.	6	3,00	18,00	3	2,25	6,75	19	2,75	52,25
Laveurs.	3	2,75	8,25	"	"	"	5	3,00	15,00
	k.			k.			k.		
Huile et essences mêlées.	1,100	0,54	0,99	1,800	0,85	1,53	7,675	0,81	6,22
Chiffons et déchets blancs.	"	"	"	"	"	"	16,600	0,80	13,28
Chiffons et déchets de couleur.	2	0,30	0,60	4	0,45	1,80	"	"	"
Ponce en poudre.	0,200	0,60	0,12	"	"	"	"	"	"
Feuilles de papier émeril et de verre.	2	0,03	0,06	8	0,05	0,40	29	0,05	1,45
Dépense totale par dépôt.	"	"	27,62	"	"	10,48	"	"	88,20
Dépense par machine.	6	4,60	"	5	2,10	"	29	3,04	"
Dépense par nettoyage ou lavage.	8	2,76	"	8	1,31	"	38	2,33	"
Dépense par demi-nettoyage.	4	1,38	"	"	"	"	"	"	"
Dépense par kilomètre.	1452	0,0190	"	720	0,0145	"	5520	0,0160	"

nettoyage des machines dans divers chemins de fer.

CHEMIN DE FER DE STRASBOURG Dépôt de la Villette.			CHEMIN DE FER DE STRASBOURG Dépôt d'Épernay.			CHEMIN DE FER DE L'OUEST. Dépôt de Plaisance.			OBSERVATIONS.
Quantités ou nombres.	Prix de l'unité.	Montant des dépenses.	Quantités ou nombres.	Prix de l'unité.	Montant des dépenses.	Quantités ou nombres.	Prix de l'unité.	Montant des dépenses.	
18	fr.	fr.	18	fr.	fr.	9	fr.	fr.	<p>Sur chemin de fer de l'Ouest, on emploie de la corde molle à 1 fr. 15 c. le kilogramme, en remplacement des déchets de coton.</p> <p align="center">RÉSULTATS MOYENS.</p> <p>Dépense par ma- fr. chine 3,33</p> <p>Dépense par net- toyage ou lavage. 2,83</p> <p>Dépense par demi- nettoyage. . . . 1,42</p> <p>Dépense par kilo- mètres. 0,01715</p>
180	"	"	"	"	"	248	"	"	
2340	"	"	"	"	"	570	"	"	
13	2,50	32,50	12	"	44,00	1750	"	"	
1	3,00	3,00	2	2,55	5,10	6	2,50	15,00	
k.	"	"	k.	"	"	1	3,67	3,67	
8	0,78	6,24	6,660	0,92	6,12	4	0,85	3,40	
6	0,70	4,20	"	"	"	7	0,68	4,41	
"	"	"	18,00	0,45	8,10	"	"	"	
"	"	"	"	"	"	2,100	1,15	2,41	
5	0,03	0,15	36	0,03	1,08	"	"	"	
"	"	48,09	"	"	64,40	14	0,0425	0,60	
13	3,55	"	18	3,58	"	"	"	29,49	
6	4,20	"	8	4,02	"	9	3,27	"	
10	2,10	"	16	2,01	"	11	2,68	"	
2340	0,0197	"	"	"	"	"	"	"	
			"	"	"	1750	0,0168	"	

1101. *Des accidents dans les chemins de fer, de leur proportion et de leurs causes.* (Capitaine Marek, huish) (1). — La sécurité, dans un chemin de fer, dépend de la bonne construction et du bon entretien de la voie.

C'est surtout au moment des changements de temps qu'il faut surveiller activement les parties faibles de la voie, qui se découvrent alors.

Très-peu d'accidents proviennent cependant de la voie seule.

Les déraillements sont rares, et dus presque toujours à des actes de malveillance volontaire : aussi, en Angleterre, la pénalité a-t-elle été augmentée.

La multiplication des voies de dégagement qu'exige l'accroissement des services est aussi dangereuse ; le système des aiguilles agissant d'elles-mêmes l'est encore plus.

Sur mille accidents arrivés au London and north Western, les ruptures et fuites des tubes forment un tiers ; les ruptures des ressorts et des soupapes, un autre tiers. En quatre ans, quatre roues entièrement brisées, dont deux étaient en bois ; les boîtes à graisse, perfectionnées aujourd'hui, ne laissent plus échauffer les essieux.

Les wagons à marchandises sont là dans de moins bonnes conditions d'installation pour prévenir tout accident.

Pas d'exemple de mort provenant d'un incendie, soit spontané, soit causé par des débris de coke embrasé, mais des alertes fréquentes.

La plus grande partie des accidents sur les chemins de fer sont dus, en Angleterre comme en France, à des infractions aux règlements et à l'inattention aux signaux.

Les dernières statistiques publiées par le ministre des travaux publics constatent que les *changements de voie* des chemins de fer, sur treize ans d'observations, sont la cause d'un très-grand nombre de déraillements ou de chocs et en occasionnent les 19 millièmes, comme ils font les 35 millièmes du nombre des accidents afférents au mauvais état de la voie.

(1) *Journal de la Société des ingénieurs civils de France*, 1853.

Ces changements de voie ont été tout récemment l'objet d'une étude complète, de la part de M. Roux, ingénieur civil.

Les *changements de voie* coûtent en moyenne, par kilomètre, 1,200 fr. Ce qui porte la dépense totale, pour les 7452 kilomètres exploités en France, à la somme de 8,942,000 fr.

M. Figuier fait remarquer avec raison, que les frais d'entretien annuel et de renouvellement de ces changements de voie, ne pouvant pas être comptés au-dessous de 15 p. 100 de la dépense d'installation, la dépense pour les 7452 kilomètres exploités, atteint le chiffre de 1,341,300 fr. Cette énorme dépense d'établissement et d'entretien, ajoutée aux dangers continuels des changements de voie, rend nécessaire la recherche de moyens plus sûrs et plus économiques de faire le travail dont les changements de voie sont chargés.

Il y a en effet dans le service des changements de voie, deux causes d'accidents qui s'ajoutent l'une à l'autre, pour augmenter beaucoup leur danger. Ce sont d'abord les accidents dus à la destruction et aux ruptures d'appareils qui sont encore trop délicats.

Il y a ensuite les erreurs, les oublis et les inadvertances des hommes de service, presque inévitables au milieu de dispositions multiples et compliquées d'appareils et de nombreux croisements de rails. Ces deux causes expliquent facilement les accidents multipliés qu'amènent les changements de voies.

4402.

Expériences de M. Jules Poirée.

Résultats relatifs à l'évaluation de la puissance et des consommations produites par les machines

NOTE. La distance de Paris à Montereau est de 79 kilom. ; la voie est très-accidentée dans cette partie de la ligne, et présente

DATE des EXPERIENCES.	DÉSIGNATION des TRAINS.	Durée en secondes du trajet, déduction faite des arrêts aux stations.	Temps de la marche pendant lequel la vapeur n'a pas agi.	TEMPS pendant lequel la vapeur a fonctionné.		Vitesse moyenne de marche en kilomètres, à l'heure.	Poids total du train remorqué.	CONSUMMATION totale en kilogrammes.		CONSUMMATION par heure, en kilogrammes.	
				En secondes.	En heures et fractions déci- males de l'heure.			En coke.	En eau.	En coke.	En eau.
14 octobre 1861.	Train direct de Paris à Montereau.	6300	638	5822	1,61	45	116	kil.	kil.	kil.	kil.
	Train omnibus de Mon- tereau à Paris.	7020	1470	5560	1,54	41	90	"	"	"	"
	Pour les deux trains ensemble.	13380	2008	11372	3,15	"	"	1822	15090	578	4790
18 octobre (vent presque nul).	Train direct de Paris à Montereau.	6360	660	5700	1,58	45	135	"	"	"	"
	Train omnibus de Mon- tereau à Paris.	7020	2020	5000	1,39	41	82	"	"	"	"
	Pour les deux trains ensemble.	13380	2680	10700	2,97	"	"	1424	10310	479	3471
22 octobre.	Train direct de Paris à Montereau.	6360	530	5830	1,62	45	119	"	"	"	"
	Train direct de Monte- reau à Paris.	6240	576	5664	1,57	46	83	"	"	"	"
	Pour les deux trains ensemble.	12600	1106	11494	3,19	"	"	1584	11860	497	3718
4 novembre	Train direct de Paris à Montereau.	6490	390	5650	1,54	48	110	"	"	"	"
	Train omnibus de Mon- tereau à Paris.	8123	1505	6618	1,84	35	98	"	"	"	"
	Pour les deux trains ensemble.	14613	1895	12168	3,38	"	"	1950	13141	575	3865
5 novembre (vent de côté assez fort).	Train omnibus de Paris à Montereau.	7680	1360	6320	1,75	37	84	"	"	"	"
	Train direct de Monte- reau à Paris.	6180	670	5510	1,53	45	77	"	"	"	"
	Pour les deux trains ensemble.	13860	2030	11830	3,28	"	"	1426	11830	435	3607

(1) Les trains directs contenaient un certain nombre de messageries portées sur des trucks, savoir : les 14, 18 et 22 octobre.

Ingénieur des ponts et chaussées.

Locomotives employées au remorquage des trains de voyageurs entre Paris et Montereau (1).

plusieurs pentes et contre-pentes de 0,004 à 0,006 par mètre. Le remorquage était fait avec les machines mixtes du chemin.

Travail pour la remorque du train seul (donné par le dynamomètre).	Nombre de chevaux en moyenne pour la traction du train remorqué.	CONSUMMATION par heure et par cheval pour le train remorqué		Travail pour la traction du train brut, non compris les résistances passives de la machine approximativement.	Nombre de chevaux (train brut).	CONSUMMATION par heure et par cheval pour le train brut.		Travail total pour la traction du train, c'est-à-dire comprenant les résistances passives de la machine approximativement.	Nombre de chevaux (force nominale).	CONSUMMATION par heure et par cheval nominal.	
		En coke.	En eau.			En coke.	En eau.			En coke.	En eau.
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
km.	chev.	kil.	kil.	km.	chev.	kil.	kil.	km.	chev.	kil.	kil.
77517760	177	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
62873615	161	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
140391365	164	3,52	29	219000000	250	2,25	18,7	240000000	281	2	17
83752915	195	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
45088090	120	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
128841005	160	2,99	21,6	208000000	259	1,84	13,4	227000000	282	1,7	12,3
84260626	192	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
57898664	136	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
142159290	165	3,00	22,5	221000000	256	1,93	14,5	242000000	280	1,8	13,2
85006255	204	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
64422920	140	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
154429175	169	3,42	23	223000000	255	2,25	15,1	256000000	280	2,1	13,7
60966543	128	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
55418865	134	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
116325468	131	3,31	27,5	195700000	219	2	16,4	212000000	239	1,8	15,1

194 messageries; le 4 novembre, quatre messageries; le 6 novembre, deux messageries.

1103. Dans les expériences qui précèdent, le travail développé par la charge entière du train, à sa vitesse de règle, a été obtenu à l'aide des indications d'un dynamomètre-Morin placé derrière le tender, et pouvant mesurer des efforts de 2,200 kil. Le papier sur lequel sont tracées les flexions du ressort, est conduit, d'une manière parfaitement uniforme, par un mouvement d'horlogerie, depuis le moment du départ jusqu'à l'arrivée. Les temps étaient pointés de 15 en 15 secondes, et les espaces parcourus de 50 en 50 mètres, au moyen des poteaux du télégraphe électrique.

On a calculé d'abord le travail élémentaire en multipliant chaque effort par l'espace pendant lequel il a été exercé; le travail total est la somme de tous ces travaux partiels.

La consommation en coke a été donnée par la différence entre le poids livré au départ et celui qui restait à l'arrivée, en tenant compte de la charge du foyer.

Le temps pendant lequel le régulateur a été fermé, est donné par les indications du dynamomètre.

La force moyenne en chevaux-vapeur, développée pendant la marche de la vapeur, et donnée par les colonnes 14, 18 et 22, a été obtenue en calculant le nombre de kilogrammètres produits en une seconde et divisant le nombre par 75, force d'un cheval.

Pour avoir la force en chevaux développée par la vapeur dans le remorquage du train brut, c'est-à-dire avec la machine, le tender et le train, mais sans y comprendre les résistances passives ou frottements additionnels de la machine, on a admis que le tirage de la machine et de son tender, à la vitesse moyenne des trains remorqués sur niveau, et compensation faite des pentes et des rampes, était de 500 kil., données résultant d'expériences qui se trouvent plus loin, sur le tirage des trains entre Paris et Melun.

On a obtenu enfin la force totale en chevaux, développée par la vapeur, c'est-à-dire la force nominale de l'appareil, en admettant, avec Pambour, que les frottements additionnels de la machine, pendant son action, sont les 0,15 du tirage du train, somme de puissance qui est à peu près d'accord avec les expériences de M. Goch.

La quantité de travail absorbé par le remorquage d'une tonne dans les *trains omnibus*, dépasse de peu de chose celui qu'absorbe la tonne dans les *trains directs*, quoique le tirage augmente un peu, à mesure que la vitesse diminue.

1104. M. J. Poirée résume ainsi ses expériences :

Le résultat des données consignées dans le tableau qui précède, que, dans les expériences rapportées, la *force effective* produite en moyenne par les appareils employés au remorquage des trains, s'est élevée à 250 chevaux, et que la *force nominale* peut être évaluée à 272 chevaux.

Il en résulte aussi que la consommation moyenne de coke, par heure et par cheval effectif, a été de 2 k. 05, et de 1 k. 89 par heure et par cheval total nominal.

Ainsi les machines locomotives peuvent développer des puissances considérables, et sous le rapport de la consommation elles sont dans des conditions comparables à celles des bonnes machines fixes, et notablement supérieures à celles admises pour les machines de bateau à basse pression et à condensation.

1105. *Expériences sur le frottement de glissement.* — M. J. Poirée a fait aussi de nombreuses expériences, sur la même partie du chemin de fer de Paris à Lyon, relativement à la résistance des wagons à frein et au frottement de glissement, desquelles il résulte que, quoique l'on admette généralement, d'après des expériences faites dans des limites de vitesse restreintes, que le frottement de glissement est indépendant de la vitesse des corps frottants, il est fort douteux que cette loi se maintienne avec des vitesses beaucoup plus élevées; on voit en effet que le tirage des wagons à frein, glissant sur la voie comme des traîneaux, diminue à mesure que la vitesse augmente, quoique, à raison de la discontinuité de la voie, le traîneau éprouve à chaque joint des rails, un choc d'autant plus violent que la vitesse est plus grande, ce qui devrait augmenter le tirage dans une forte proportion.

La formule donnée ici par M. Poirée ne représente donc pas très-exactement le rapport de cette diminution de tirage.

1106. *Expériences sur le tirage des trains.* — Des expériences

ont eu enfin pour objet la détermination de *l'effort de traction* nécessaire pour remorquer sur niveau, une machine mixte et son tender, chargés d'eau et de coke, en allant et revenant de Paris à Melun.

Il paraît résulter de ces expériences que le tirage des machines mixtes de la ligne de Lyon, marchant à 45 et 50 kilomètres de vitesse à l'heure, peut être fixé à 11 kil. par tonne.

SIXIÈME PARTIE.

DES MACHINES DE STEAMERS.

Du système des machines à basse et à haute pression.

1107. Dans les marines militaires de tous les pays de l'Europe, et sur les navires à vapeur destinés à la navigation transatlantique et à la grande navigation maritime, on a adopté, presque exclusivement jusqu'à ce jour, les systèmes de machines à basse pression. L'état normal de la pression est 1 atm. $1/6$ ou 1 kil. 205 par centimètre carré; la pression maximum est de 1 atm. $9/10$, correspondant à 27 ou 28 livres anglaises par pouce carré anglais.

Les raisons qui ont fait adopter ce système de préférence à la moyenne pression, sont surtout la plus grande sécurité que l'on croit obtenir avec les chaudières à basse pression, les sifflements et le bruit que donnent plus facilement les chaudières à haute pression, et la trop grande force avec laquelle leurs machines fonctionnent, et surtout l'absence presque complète d'ébranlements et de secousses des machines à basse pression, quand elles marchent; mais c'est surtout la conviction du danger d'explosion dont sont menacés toujours les bâtiments, avec la vapeur à haute pression, qui a fait persévérer dans l'emploi de la basse pression.

1108. *Dangers des chaudières à basse pression.* — Comme nous l'avons dit dans notre premier volume, l'emploi de ce système, entraîne d'abord de graves dangers; il est certain que les dangers d'explosion sont bien plus menaçants, et les explosions beaucoup plus fréquentes, avec les chaudières à basse pres-

sion, qu'avec celles à moyenne et qu'avec celles même à haute pression.

La forme des chaudières à basse pression est éminemment défavorable à une résistance du dedans au dehors : leurs larges surfaces planes, quelque bien armées qu'elles soient d'entre-toises et de tirants, se déchirent très-souvent sous l'action des ébranlements continus que leur fait subir la vapeur; la tôle est bien vite altérée par ce travail de tous les moments et par les dépôts, et les déchirures, avec toutes leurs conséquences, ne peuvent pas être évitées, car la disposition des machines dans la cale d'un navire, où elles sont si pressées, est bien plus dangereuse que dans les machines fixes, à cause du manque d'issues.

1109. Les chaudières cylindriques, au contraire, comme celles que l'on emploie avec les machines fixes et sur les locomotives, ont les formes qui résistent le mieux aux pressions intérieures; les explosions y sont très-rares et n'ont que des conséquences peu graves avec les chaudières fixes, même à la haute pression de 6 1/2 ou 7 atmosphères, à laquelle les plus habiles constructeurs emploient aujourd'hui la vapeur, pour arriver à de grandes détentes, sous la condition d'avoir des chaudières bien entretenues.

Dans les locomotives timbrées aujourd'hui toutes à 8 atmosphères, on peut dire qu'il n'y a pas d'explosion, à part des tubes qui se déchirent sans aucun danger, même pour le service de la locomotive; au lieu qu'avec les chaudières à basse pression, et surtout les vastes chaudières de mer, fatiguées ou brûlées par les incrustations, les explosions ont lieu très-fréquemment, et chacune de ces explosions entraîne de nombreux malheurs.

Avec les machines transatlantiques le danger est le même, et nous en avons eu récemment un triste exemple sur un steamer de la marine de l'État, le *Rolland*, où des tôles ainsi déchirées dans leur partie plane, ont amené une explosion terrible, par ses conséquences.

* Si ce déplorable événement n'avait pas eu lieu, nous n'aurions pas insisté de nouveau ici, sur les dangers que présentent les chau-

dières à basse pression, et nous ne serions pas revenu sur les graves défauts de ces machines, qui ont de plus une dépense de combustible double de celle que donnent les machines à haute et à moyenne pression et à condensation, question que nous avons déjà traitée dans notre premier volume (535).

1110. Nous ne saurions trop insister sur la nécessité d'arriver promptement à remplacer à bord des steamers de toute puissance, le système à basse pression, ses dangereuses chaudières et leur grande consommation, par le système à moyenne pression, à 4 atmosphères au moins, avec ses chaudières cylindriques et sa consommation de 1 kil. 50 de houille par cheval. Dans ces limites de pression, en prenant des appareils construits comme ceux qui sortent des meilleurs ateliers, les machines marchent avec une douceur et un calme égal à celui des machines à basse pression.

Les pertes de vapeur par les soupapes peuvent être aussi évitées avec des soins, et, en les laissant plongées dans un bain d'eau froide : il ne peut plus y avoir alors aucun bruit.

Ainsi, nous le répétons, avec le système à moyenne pression et des chaudières cylindriques marchant à 4 atmosphères, et quelques précautions prises dans la construction, on a autant de douceur de marche et aussi peu de secousses et de bruit qu'avec la basse pression, beaucoup moins de dangers, et, de plus, une consommation de houille plus que moitié moindre, ainsi que tous les avantages qui résultent de cette énorme économie, comme une place plus grande réservée au chargement utile ou aux aménagements des voyageurs et à l'armement pour les navires de guerre.

C'est un devoir pour nous, de renouveler avec persévérance nos protestations contre l'emploi du système à basse pression, qui a tous les défauts et qui n'a pas l'avantage de la sécurité, système contre lequel nous saisirons toutes les occasions d'élever une voix entièrement désintéressée, et qui par conséquent pourra avoir quelque poids dans cette grave question. 5 1 13 2

1111. *Chaudières des steamers aux Etats-Unis et en Europe.*
— Une des causes qui ont le plus puissamment contribué à dé-

fendre le système à basse pression, dans la grande navigation, ce sont les explosions si désastreuses qui anéantissent à tout moment les bateaux à vapeur et de nombreux voyageurs aux États-Unis, où un grand nombre de chaudières de steamers sont à haute pression; mais il n'y a aucune comparaison à établir entre les machines de bateaux dans l'Amérique du Nord et celles de l'Europe, et surtout celles de la France.

Les premières, abandonnées aux mécaniciens, sont livrées à un travail forcé, sans mesure et sans limites, et sans aucune surveillance, ni aucune responsabilité quelconque; elles n'ont subi aucun examen, aucun essai, et nous avons dit dans quel état de détérioration, de destruction se trouve une machine abusivement surchargée et mal entretenue, en faisant un travail non interrompu. C'est toujours sur les chaudières de bord que porte la plus grande destruction, à cause des coups de feu, des incrustations et des feux forcés : les conséquences nécessaires de cet état de choses, ce sont des explosions inévitables.

En Europe, les machines des steamers sont dans des conditions toutes différentes de bonne construction, de bon entretien et de bonne conduite. En France, outre une bonne et solide installation des machines, il y a une législation très-complète, très-sévère, rigoureusement appliquée et parfaitement entendue, qui assure le bon établissement des chaudières et des machines, et qui en surveille la marche et le travail pendant tout le temps du service; les dangers et les abus qui anéantissent tant de steamers aux États-Unis, ne sont nullement dus au système et ne sont en rien applicables aux machines de l'Europe, et encore moins à celles de France.

Il est évident que si l'explosion du *Rolland* a eu lieu, ce n'est ni le fait des constructeurs de ces belles machines, qui étaient excellentes, ni celui des officiers du bord, ni celui des mécaniciens. Il faut le dire, c'est le fait du système à basse pression qui a amené une explosion, malgré une construction très-habile et malgré une législation toute protectrice.

1112. *Remplacement à bord des chaudières à basse pression par*

les chaudières de locomotives Engerth, timbrées à 4 atmosphères 1/2.
 — Il y a un modèle de chaudières tout trouvé à substituer aux chaudières à basse pression, c'est la chaudière de la locomotive Engerth, que l'on pourrait prendre avec ses dispositions, ses dimensions et ses épaisseurs, sauf les tubes, auxquels on donnerait l'écartement adopté avec les eaux incrustantes de la mer et 7 ou 8 centimètres de diamètre intérieur, dimensions reconnues les meilleures pour les chaudières de grande navigation, qui doivent marcher sans appel forcé.

Une chaudière de 196 mètres carrés de chauffe, aurait ainsi, avec un seul foyer, une longueur de 8 mètres, un diamètre de 1^m,6, et occuperait 13 mètres carrés et très-peu de hauteur;

Tandis que les chaudières de la Bretagne, pour une surface de chauffe totale de 240 mètres, ont :

Longueur,	mèt.	3,10
Largeur,		4,780
Hauteur,		4,50

et occupent une surface de 14,82 mètres carrés.

Cette chaudière de locomotive installée à bord, avec ses épaisseurs et essayée pour 8 atmosphères, comme elles le sont, ne serait timbrée et ne marcherait qu'à 4 atm. 1/2, comme nous l'avons dit. Cette pression est en effet celle de la vapeur employée avec le plus grand avantage dans les machines à condensation à deux ou à un cylindre.

Elle permet une détente de 1 à 20 et donne, comme nous l'avons montré (598) en parlant des machines du château d'eau de Nantes, une consommation de 1 kil. 20 par cheval au plus, c'est-à-dire un tiers de la consommation actuelle des steamers.

Avec des chaudières cylindriques d'épaisseur et essayées pour 8 atmosphères et timbrées à 4 atm. 1/2, il est évident que la sécurité contre les explosions serait complète, la forme cylindrique résistant parfaitement aux pressions: et, avec des soupapes de sûreté recouvertes d'eau, tout sifflement devient impossible.

Nous sommes certain que l'adoption de ce système de chaudières,

résoudra d'un seul coup, la question de l'emploi des moyennes pressions et des grandes détente dans la navigation maritime; car une bonne chaudière à moyenne pression une fois trouvée pour la mer, l'installation à bord de cylindres à chemises, disposés pour de grandes détente et à enveloppes parfaites, ne présente aucune difficulté.

Ces deux systèmes réunis présenteraient tous les avantages que nous avons signalés plus haut, et feraient disparaître les graves défauts du système à basse pression.

Nous donnons (pl. 29 et 30, fig. 87 à 91) les plans d'une locomotive Engerth, du chemin de fer du Nord, du mode de construction le plus parfait, ce qui permettra de juger sans peine, la facilité d'application du système que nous proposons.

1113. *Machines de la marine impériale.* — Suivant notre principe de donner un petit nombre de très-bonnes machines à vapeur, qui puissent servir de modèles et de types, on trouvera ici :

1^o Comme modèle de machine de mer à balancier, commandant des roues à aubes, l'une des machines de 80 chevaux de force nominale des steamers de l'État le *Sphinx*, construites par Fawcett;

2^a Les machines de deux steamers de guerre à hélice. D'abord les deux machines inclinées de l'*Ariel*, de 120 chevaux de force nominale, construites ainsi que le navire, sur les plans de M. Dupuy de Lôme, directeur du matériel de la marine;

3^a Les quatre machines horizontales de 1200 chevaux ensemble de force nominale, du vaisseau le *Bretagne*, le plus grand appareil qui soit sorti des ateliers d'Indret, qui sont si habilement conduits. Ces machines réalisent les conditions les plus parfaites, trouvées aujourd'hui pour les vaisseaux de guerre à vapeur de premier rang;

4^a On trouvera aussi les machines horizontales de l'axe le *Biche*, par MM. Mazelin frères;

5^a Comme modèle de machine transatlantique, nous donnons deux machines de 250 chevaux ensemble, montées sur les bâti-

ments en fer de la Compagnie d'Anvers, et sorties des ateliers de la maison Cockerill, en Belgique.

Nous devons toutes les machines de la marine impériale à la bienveillance de S. Exc. le ministre de la marine; les détails relatifs au travail des machines transatlantiques aux soins éclairés de M. Pastor, directeur des ateliers de Seraing; et nous en avons pris les plans et les descriptions dans le portefeuille de la maison Cockerill, publié à Liège par M. E. Noblet, qui nous y a obligeamment autorisé.

Ce portefeuille est une publication très-remarquable par le choix des machines, la beauté de la gravure et la description si claire, si complète et si consciencieuse des machines.

1114. *Machines du Sphinx, avec roues à palettes, et de 160 chevaux ensemble.* — Ces deux machines (*pl. 43, fig. 124*) sont à basse pression et marchent à 1 atm. 1/6.

Les cylindres ont des chemises à vapeur.

La tête des pistons est conduite verticalement par un parallélogramme attaché au bâti triangulaire de la machine; deux bielles marchant aux deux côtés du cylindre transmettent le mouvement à deux balanciers placés au-dessous de la machine et de son bâti, et une bielle motrice unique, ajustée à l'autre bout des balanciers, communique le mouvement à l'arbre moteur des roues à palettes, par l'intermédiaire d'une manivelle spéciale à chaque machine.

Les deux manivelles sont, comme toujours, à 90° l'une sur l'autre; l'arbre moteur repose sur des paliers portés sur un bâti très-solide en fonte, qui lui-même repose sur deux fortes colonnes de fonte reliées par une croix de Saint-André, et assemblées avec un châssis triangulaire fixé sur la plaque de fondation et au bas des cylindres.

La distribution se fait par des tiroirs marchant dans une boîte. Chaque machine a un condenseur, une pompe à air et une pompe alimentaire.

Dimensions principales des machines.

Diamètre des cylindres,	mèt. 1,22
Manivelles,	0,724
Course,	1,448
Révolutions par minute,	22
Vitesse du piston par seconde,	$\frac{22 \times 1^m,448 \times 2}{60} =$ mèt. 1,06
Longueur des balanciers,	4,40
Longueur de la bielle motrice,	3,40
Id. des biellets du cylindre,	2,64
Pales en bois, par roue,	16
Corps de chaudières,	2
Foyers par chaudière,	3
Volume d'eau contenu dans les deux chaudières,	mèt. c. 30,102
Vide réservé à la vapeur dans les chaudières,	28,756
Volume occupé par les foyers et les carneaux,	50,370
Surface des grilles,	mèt. q. 9,900
Longueur des carneaux, depuis le niveau des foyers jusqu'au commencement de la cheminée,	mèt. 39,46
Longueur de la cheminée, sans la couronne,	14,600
Diamètre de la cheminée,	1,217
Surface de chauffe totale,	mèt. q. 234,484
Surface par cheval-vapeur,	1,465

Les chaudières sont à carneaux ; l'introduction de vapeur, dans le cylindre, se fait par une soupape tournante.

Ces machines qui, à 22 révolutions, donnent par le calcul 80 chevaux de puissance chacune, ou 160 chevaux ensemble, ne détendent pas, ou ne détendent que très-peu par l'effet de l'avance, détente nécessaire pour faciliter leur jeu et le passage de la vapeur au condenseur. On voit que la vitesse de ces machines est de 1 mètre par seconde comme celle des machines fixes, ce qui doit être, parce qu'elles commandent directement des roues à palettes, avec lesquelles la vitesse de 28 ou 30 tours, que les machines prennent fort bien, est très-avantageuse.

Cette disposition de machines, avec des balanciers, est celle de presque tous les bateaux à vapeur qui ont des roues à aubes ; elle est très-favorable à la transmission de mouvement, elle permet de donner à la bielle motrice six fois la longueur de la

manivelle et de renvoyer directement le mouvement à l'arbre moteur des roues ; enfin l'ensemble de la machine, tout en étant ramassé, comme cela doit être, sur un steamer, n'est nullement confus, et toutes les pièces peuvent être visitées, graissées, changées ou réparées sans peine.

1115. *Machines oscillantes de l'avis* l'Ariel, commandant une hélice. — Ce navire, entièrement en métal, et la double machine qu'il porte, ont été construits par M. Barnes, à la Clotat, sur les plans et sous la direction de M. Dupuy de Lôme, ingénieur en chef des constructions navales et directeur du matériel au ministère de la marine.

Commencé en janvier 1847, ce navire, qui porte 28 canons de 12, prenait la mer en février 1849. La machine est à moyenne pression et oscillante, et les dispositions sont toutes différentes des premières.

D'abord le résultat principal de l'emploi de l'hélice comme organe du mouvement, dans la marine militaire, a été une révolution dans la construction et l'arrimage à bord, des machines motrices.

C'est évidemment aux boulets de l'ennemi que les roues à aubes, et même les machines qui les mettent en mouvement, sont exposées, sans aucune défense et de tout près.

L'invention de l'hélice, qui sort de la coque du navire sous le niveau de l'eau, et qui y tourne entièrement immergée, a d'abord l'avantage d'échapper à toutes les attaques des boulets ennemis ; un autre avantage aussi grand a été la facilité d'installer également les machines à vapeur au-dessous de la ligne de flottaison, de manière à les mettre à l'abri des ruptures causées par les projectiles.

Dans le principe, on a cru nécessaire de donner de très-grandes vitesses aux hélices, et comme les machines à vapeur ont des vitesses d'autant moindres qu'elles ont plus de course, plus de diamètre de cylindres et plus de puissance, il a été nécessaire d'employer des engrenages intermédiaires, entre l'arbre de la machine et celui de l'hélice.

1116. Cette disposition d'engrenages était compliquée et très-lourde, et on a enfin trouvé le moyen de transmettre directement le mouvement des pistons à l'arbre porte-hélice.

On a en effet reconnu bientôt, par expérience, que l'hélice n'avait pas besoin de tourner à une vitesse de 130 tours et plus, ce qui exigeait l'emploi d'engrenages, mais que 65 ou 70 tours par minute suffisaient. Avec les énormes diamètres donnés aux hélices des grands navires, on a en même temps reconnu que la vitesse des grandes machines pouvait être portée jusque-là, tout en conservant un bon rendement en puissance mécanique utile; ce qui a permis d'attaquer directement l'arbre de l'hélice par les bielles des tiges des pistons, comme on le fait toujours aujourd'hui.

Les machines de l'*Ariel*, et celles de la *Biche* que nous donnons plus loin, sont un excellent type de ce premier système de commande d'hélice par des engrenages.

L'*Ariel* a réalisé aussi l'emploi de la vapeur à moyenne pression à 2 atmosphères, avec une détente aux 0,63 de la course entière, c'est-à-dire une détente de moitié du volume primitif; la machine est formée, comme les bateaux-omnibus de Londres, de deux cylindres oscillants placés aux deux bouts d'un bâti solide, avec un condenseur oscillant entre eux.

Le bâti est composé de quatre larges montants en fonte reposant sur une plaque de fondation, placée entre les cylindres et reliés en haut et en bas par des cadres qui laissent libre, en bas, le passage des cylindres qui oscillent, et, en haut, celui des tiges de pistons et des manivelles. L'arbre qui porte les deux manivelles repose, avec ses paliers, sur le cadre supérieur, et se prolonge du côté de l'hélice, pour recevoir les engrenages de transmission de mouvement.

Les tiroirs à glissières sont, comme dans les machines de Cavé, commandés par le mouvement même des cylindres qui oscillent; le condenseur est conduit par une manivelle placée sur le même arbre; les chaudières sont tubulaires et à retour de flamme; elles ont trois foyers chacune: tout leur dôme est cylindrique, pour mieux résister à une pression de 2 atmosphères. Voici

les bases d'établissement de la machine de 120 chevaux de l'*Ariel* :

1117. Nombre de cylindres à vapeur,	2
Diamètre des cylindres,	mèt. 1,110
Course des pistons,	1,020
Vitesse des pistons par seconde, à 37 révolutions,	1,26
Durée moyenne de l'introduction de la vapeur de la chaudière par les tiroirs, en rapport avec la course,	0,63
Tension de la vapeur dans la chaudière,	atm. 2
Vitesse moyenne de la machine par minute pendant les essais, en temps calme et pendant 17 heures,	tours 37
Rapport du nombre des dents des roues motrices,	4,180
Nombre de tours de l'hélice correspondante,	155
Diamètre de l'hélice,	mèt. 2,300
Pas de l'hélice,	2,80
Nombre d'ailes,	2
Fraction d'espace occupée par chaque aile,	mèt. 0,143
Longueur de la manivelle,	0,51
Longueur de la tige des pistons, depuis le stuffingbox jusqu'à la crosse de la tige,	1
Longueur du navire sur la ligne du pont,	41,65
Largeur hors membres, au fort,	6,60
Creux sur quille, au milieu,	3,60
Tirant d'eau en charge, pris sous quille,	2,410

Résultats de la marche.

Déplacement moyen du navire pendant les essais, en une minute,	mèt. 240
Surface correspondante au maître couple,	mèt. q. 10,100
Vitesse moyenne par calme, avec le régime indiqué ci-dessus pour la machine pendant les essais, en 17 heures,	nœuds 12
Surface de la voilure,	mèt. q. 401
Diamètre de l'arbre en fer des manivelles,	mèt. 0,25
Corps de chaudières,	2
Foyers par chaudière,	3
Nombre de tubes par chaudière,	150
Longueur des tubes,	mèt. 1,80
Diamètre, à peu près,	0,07
Diamètre de la cheminée,	1,05
Hauteur de la cheminée, au-dessus du tambour,	9,00

La chaudière est à retour de flamme.

On voit que la vitesse des pistons est encore ici celle adoptée par Watt; la partie libre de la tige du piston, au-dessus du stuffingbox, est égale à deux fois la manivelle.

1118. *Machines horizontales et directes du vaisseau la Bretagne, de 130 canons, 1200 chevaux de puissance nominale.* — Ce type est le plus perfectionné qui ait été trouvé jusqu'à ce jour, et les machines de la *Bretagne* sont les plus puissantes que l'on ait montées à bord d'un vaisseau de ligne de premier rang.

Après avoir fait un assez grand nombre de steamers à hélice, avec transmission par engrenages, on est arrivé, à la suite de nombreux essais, à supprimer ces engrenages, qui, surtout avec les machines très-puissantes, ont de graves défauts, car ils perdent beaucoup de force mécanique, occupent beaucoup de place pour marcher; ils sont très-lourds et amènent de nombreuses chances d'arrêts et de réparations. On a pu augmenter beaucoup les vitesses des pistons et les dimensions des hélices; l'hélice de la *Bretagne* a de diamètre 6^m,50 et de circonférence 20^m,42, qui, à 70 tours par minute, répondent à une vitesse par seconde de 23^m,33.

On a donc porté le nombre des révolutions des machines à 60 ou 70 tours, vitesse nécessaire pour que l'hélice produise son entier effet, et imprime au navire toute la rapidité de marche qu'il doit avoir, marche qui doit être en rapport aussi avec le diamètre de l'hélice. Pour arriver à ce résultat, on a diminué en même temps la longueur proportionnelle de course des pistons : on a obtenu ainsi des machines très-puissantes qui ont pu attaquer directement l'arbre de l'hélice et lui transmettre tout leur travail, dans de bonnes conditions d'effet utile. Tel a été le principe qui a présidé à cette transformation des machines et de la transmission de mouvement aux hélices, et qui en a assuré l'entier succès.

1119. Quant à la disposition générale des appareils à vapeur, la forme des machines horizontales était la seule possible, avec la condition première de tout navire de guerre, de cacher les machines et l'arbre de l'hélice, et de les rassembler au-dessous

de la ligne de flottaison ; et comme, dans les plus grands navires, la largeur dont on peut disposer est toujours fort petite, on a dû donner à ces machines, en même temps puissantes et resserrées, des formes trapues et très-courtes de bielles et d'organes.

Divers systèmes de machines horizontales ont été employés ; celui des machines de la *Bretagne* a été reconnu le meilleur, en France, pour les plus puissants steamers de guerre, et plusieurs grands navires ont déjà été installés avec ces dispositions mécaniques.

Le piston qui court dans les cylindres est soutenu et guidé par une tige double qui sort par les deux fonds, dont l'un est fixe et l'autre est un plateau mobile ; l'une des extrémités de la tige du piston est assemblée à une bielle très-solide qui transmet directement le mouvement à l'arbre de l'hélice, à l'aide d'une manivelle.

1120. Les machines motrices de la *Bretagne*, du *Redoutable* et d'autres vaisseaux de ligne que nous représentons (*pl.* 37, *fig.* 115, machines, *pl.* 38, *fig.* 116 et 117), sorties des ateliers d'Indret, sont fixes, à basse pression, à mouvement direct et à quatre cylindres horizontaux.

Un grand nombre de courbes prises sur le *Redoutable*, dont les appareils sont tous semblables à ceux de la *Bretagne*, sauf qu'au lieu de huit corps de chaudières comme la *Bretagne*, le *Redoutable* n'en a que six, courbes relevées aux neuf dixièmes de la course, ont donné pour la pression moyenne de la vapeur motrice 82 centimètres de mercure, ou 1,08 atmosphère.

Le poids de vapeur dépensé par les machines de la *Bretagne* à cette pression, par heure et à 45 révolutions, est, comme nous l'avons déjà dit, de 30724 kilogrammes.

Ces machines sont disposées avec un système de détente variable qui permet d'opérer la détente depuis 0,20 jusqu'à 0,90 de la course des pistons.

Les cylindres (*pl.* 38, *fig.* 116) n'ont pas de chemise à vapeur ; ils ont cinq larges côtes extérieures, en fonte, qui leur donnent beaucoup de solidité contre les secousses des coups de

mer en les laissant légers, et sur lesquelles s'appuie une enveloppe extérieure en feutre et en bois, ou mieux en cuivre, pour les préserver du refroidissement, en laissant un vide d'air entre deux.

Les pistons, qui ont des segments métalliques, sont ajustés sur le renflement conique d'une tige de 0^m,18 de diamètre, qui sort par les deux bouts du cylindre à travers deux boîtes à étoupes, munies de ressorts pour maintenir le serrage toujours égal. Le cylindre a d'un côté un fond fixe et de l'autre un plateau mobile, au delà duquel la tige du piston se prolonge pour l'assembler par une tête, avec une bielle à fourche (*fig. 117*), au moyen d'une clavette qui tient la tige et d'un fort boulon qui la relie à la bielle.

Le cylindre porte sur le côté un tiroir à glissière commandé par deux excentriques posés sur l'arbre de la manivelle. Ces tiroirs règlent l'introduction de la vapeur dans les deux lumières qui viennent déboucher aux deux fonds du cylindre, et qui envoient la vapeur qui a travaillé, dans un condenseur placé au-dessous du cylindre et parallèlement, chaque cylindre ayant son condenseur et sa pompe à air. Comme dans les locomotives, il y a deux excentriques, l'un pour la marche en avant, l'autre pour la marche en arrière, et le tiroir est commandé par la coulisse de Stephenson (*pl. 35, fig. 105 à 108*).

1121. La vapeur est introduite dans les boîtes des cylindres par un régulateur cylindrique manœuvré par le mécanicien; les quatre bielles transmettent le mouvement des tiges des pistons à deux manivelles fixées sur l'arbre moteur des machines (*fig. 115*), qui commandent directement l'hélice.

Chaque manivelle reçoit deux bielles, reliées à deux cylindres placés symétriquement aux deux côtés de l'arbre de couche, qui est en fer forgé et qui a 0^m,38 de diamètre; les bielles n'ont que 1^m,30 de longueur, et comme la course du piston est de 1,20 avec une manivelle de 0,60, il y a là forcément un tirage oblique très-fort, qui est détruit par une crosse de piston munie de coulisseaux, marchant dans des glissières en métal; celles-ci maintiennent rectiligne la course des pistons.

Il y a donc, pour un appareil de navire de 1000 ou 1200 chevaux, quatre cylindres horizontaux, placés deux à deux de chaque côté de l'arbre moteur de l'hélice. Celui-ci a deux manivelles, qui reçoivent chacune deux bielles : quatre condenseurs avec pompes à air, et quatre pompes alimentaires, sont placés sous les quatre cylindres, entre deux planchers en métal auxquels ils sont solidement boulonnés.

On remarquera que, pour la facilité de la manœuvre des régulateurs d'introduction de vapeur et des détentés variables, et pour la plus grande aisance et le règlement des tiroirs, les boîtes à vapeur et les excentriques de commande sont fixés aux cylindres, du côté extérieur à ceux-ci, par rapport au système général.

1122. Les pistons de la *Bretagne*, comme tous ceux des grands navires de l'État, sont à garniture métallique, avec un seul cercle ; la tige est à ajustement cône, et les deux plateaux sont réunis par des vis dont la tête est noyée dans le plateau opposé à la bielle. Il y a sur chaque cylindre un tuyau de purge d'air avec son robinet. Les cylindres sont portés sur un système de bâtis en fonte et en fer, servant de double plaque de fondation, fixé très-solidement aux carlingues qui sont sous le plancher de la chambre des machines.

Comme dans tous les navires de mer, on a soin de ne pas relier la base des bâtis aux flancs du navire, parce que le choc des vagues, dans les gros temps surtout, altère momentanément la forme de la coque, et pourrait amener des avaries graves dans les bâtis et par suite dans les machines.

Les bâtis à jour et à double cadre permettent toujours de visiter le dessous des cylindres, les condenseurs et les pompes à air, ainsi que les pompes alimentaires et les pompes de cale qui y sont installés et fixés très-solidement.

Quoique les appareils soient ici fort reserrés et la place très-bien économisée, la surveillance et les réparations de ces pièces sont prévues et faciles. La difficulté de la surveillance continuelle et des réparations dans les pièces cachées, et dans les tuyaux, valves et robinets qui en dépendent, peut amener les accidents

les plus graves dans les chaudières et dans les machines, et occasionner même des voies d'eau dangereuses et difficiles à arrêter, comme nous le dirons plus loin, en parlant de la réparation des diverses pièces des appareils moteurs des steamers.

1123. *Distribution de vapeur.* — La vapeur amenée des chaudières passe d'abord dans une boîte en fonte où se trouve le régulateur. De là elle est distribuée par des tiroirs placés horizontalement dans la boîte à vapeur. Comme ces tiroirs ont de longueur 0^m,535, sur une grande largeur, la perte de force par les frottements serait très-considérable, si on n'avait pas employé une construction très-simple pour réduire beaucoup ces frottements : c'est de leur donner, comme on l'a fait pour les pistons, une double tige qui traverse l'autre extrémité de la boîte à vapeur, dans un stuffingbox, disposition qui donne une compensation presque complète pour ces tiroirs.

La vapeur, après avoir passé dans les boîtes, par le jeu des tiroirs, entre dans les lumières qui débouchent au fond des cylindres, au moyen de courbes arrondies de loin avec soin, ainsi qu'on le voit (*pl.* 38, *fig.* 116), dans le tracé d'un cylindre isolé.

1124. Comme dans tous les bâtiments à vapeur, aujourd'hui, la marche en avant et celle en arrière sont réglées par le système des locomotives, avec deux excentriques par machine et avec la coulisse de Stephenson et son secteur, qui, outre qu'il permet de renverser la marche du navire, sans arrêter les machines et presque instantanément, permet aussi, comme nous l'avons montré en parlant des locomotives (1088), soit d'arrêter les machines en plaçant au milieu du secteur le coulisseau appelé *coussinet* dans les machines de mer, et en laissant par conséquent toutes les lumières d'introduction fermées par les tiroirs, soit de régler la longueur d'introduction de vapeur, suivant les besoins du moment, ce qui donne une détente variable.

Le système d'appareil de mise en train est commandé, pour chaque machine, par une roue de *mise en train à bras*, que l'on voit sur le plan général des machines de la *Bretagne* et qui porte

un pignon et fait marcher une crémaillère mise elle-même en communication avec le secteur de Stephenson, par une série de tringles et de leviers, et à l'aide du *coussinet mobile*. Celui-ci, suivant qu'il est conduit à un bout du secteur ou à l'autre, met le secteur et le tiroir de la machine en communication avec la bielle et l'excentrique de la marche en avant, qui est toujours le plus élevé, ou avec celui de la marche en arrière, qui est le plus bas.

1125. *Dimensions des pièces des machines de la Bretagne.*

Force nominale des quatre machines,	chev.-vap. 1200
Puissance que les appareils peuvent développer,	3200
Nombre de cylindres,	4
Diamètre des cylindres,	mèt. 1,90
Course des pistons,	1,20
Manivelles,	0,60
Volume d'un cylindre,	mèt. c. 3,403
Nombre de condenseurs,	4
Volume d'un condenseur,	mèt. c. 3,823
Nombre de pompes à air,	4
Diamètre des pompes à air,	mèt. 1,15
Course des pompes à air,	0,60
Volume des pompes à air,	mèt. c. 0,794
Nombre de pompes alimentaires,	4
Diamètre d'une pompe alimentaire,	mèt. 0,320
Course d'une pompe alimentaire,	0,300
Volume d'une pompe alimentaire,	mèt. c. 0,024
Nombre normal de révolutions par minute,	45
Poids de vapeur consommé par le <i>Redoutable</i> et par la <i>Bretagne</i> , par heure, à 45 révolutions,	kil. 30724
Poids consommé par la <i>Bretagne</i> , à 60 ou 65 révolutions,	40939
Houille, par heure, à 45 révolutions,	kil. 5008
Eau vaporisée par kilogramme de houille,	6,13
Hélice à ailes doubles : nombre d'ailes,	4
Diamètre,	mèt. 6,445

Hélice système de M. l'ingénieur Mangin.

	POUR LES DEUX AILES A N.	POUR LES DEUX AILES A R.	POUR TOUTES LES AILES.
Pas à l'entrée.	8,562	9,474	9,018
Pas à la sortie.	10,780	10,804	10,792
Pas moyen.	9,849	10,419	10,134
Fraction de pas.	<u>0,201</u>	<u>0,207</u>	0,204
	2	2	pour 4 ailes.

Au nombre de kilogrammes d'eau vaporisée par la houille ici consommée, il faut ajouter la chaleur emportée par l'extraction continue des eaux saturées, qui peut être comptée pour un tiers de l'eau d'alimentation.

1126. *Travail des machines du Redoutable de 900 chevaux*, à quarante-quatre révolutions, qui est l'allure normale sur laquelle ces machines ont été calculées.

Le *Redoutable*, dans une expérience de six heures, en mer, a consommé :

Kilogrammes de vapeur,	kil. 30724
A 1 atm. 23 ou à une pression de	ct. mt. 93,76
Ce qui donne pour le travail des quatre machines,	kmt. 186,750
En chevaux-vapeur de 75 kilogrammètres,	ch.-v. 2490

En poussant les feux, les machines ont atteint :

Révolutions par minute,	45
Et la pression 1,45 atmosphère, ou	ct. mt. 107,70
Travail maximum en kilogrammètres,	kmt. 219,390
Ou en chevaux-vapeur,	ch.-v. 3217
La vitesse du navire atteignait 12,40 milles de 1852 mètres,	
ou kilomètres,	kil. 22,96
La consommation en nombre rond, était par cheval de 75 kilogr.,	kil. 2

A moyenne et à petite vitesse, la consommation serait bien moindre.

1127. *Travail de la Bretagne.* — Sur une marche moyenne normale d'une journée, la *Bretagne* a été trouvée consommer par heure :

Vapeur sensible dans le cylindre, à 60 révolutions,	kil. 40939
Travail en kilogrammètres,	kmf. 361,075
Ou en chevaux-vapeur,	ch.-v. 3481

c'est-à-dire trois fois le travail de sa force nominale.

Pour le service des huit chaudières de ce navire, il faut, comme nous l'avons dit précédemment, un chauffeur par deux foyers, sans compter les soutiers pour le charbon.

1128. *Machines horizontales de 120 chevaux de l'avis* la Biche, et de la Pomone, construites par MM. Mazeline frères, du Havre. — Cet appareil, dont nous prenons l'élévation générale et la description dans *les machines et outils de M. Armengaud* (1) est d'un système horizontal qui a beaucoup de rapport avec les machines de l'État dont nous avons donné un exemple dans la *Bretagne* : seulement les deux cylindres sont adossés base à base, comme on le voit (*pl. 45, fig. 126*), chaque piston a une double tige qui agit sur une traverse articulée avec une longue bielle en retour, celle-ci transmet son mouvement à une manivelle placée entre la tête des pistons et les cylindres. Ces traverses ont des coulisses glissant sur des coulisseaux bien dressés. La traverse se prolonge en bas en se courbant, et elle reçoit la tige de la pompe à air qui est horizontale et placée au-dessous des tiges de piston dont elle a la vitesse, elle est entièrement en cuivre et à double effet. Ce système est de MM. Mazeline; il est breveté, et fonctionne très-bien.

Les deux manivelles sont ajustées sur des arbres de couche en fer qui portent à leur autre extrémité chacun une roue à dents de bois, engrenant toutes deux avec un pignon en fonte placé au bout des arbres d'hélice, et qui est dans le grand axe du navire.

(1) Armengaud, tome VII, dixième partie.

Les engrenages sont à double étage et chevauchés, pour diminuer le jeu.

On voit, dans notre planche que l'hélice est à deux ailes, système préféré par beaucoup d'habiles constructeurs. Il est difficile d'avoir une disposition de machines mieux ramassées et où la place soit mieux utilisée.

Les pompes alimentaires et la pompe de cale sont verticales et commandées par un excentrique sur l'arbre de la distribution et fixées extérieurement; elles aspirent de l'eau chauffée au condenseur. Les pistons sont à garniture métallique formée d'un seul cercle, dont le joint est fermé par une pièce sur laquelle agit un repoussoir à ressort et à vis; les arbres qui portent les roues sont excentrés de sorte qu'en faisant faire un demi-tour aux engrenages, ils se débrayent tout seuls; les chaudières sont à l'avant, la vapeur passe dans une boîte où est le régulateur, et de là dans la grande boîte de distribution; les tiroirs, du reste, sont en grande partie équilibrés au moyen d'une espèce de petits pistons reliés au bas des tiroirs.

Les boîtes à vapeur sont placées verticalement, sur le côté des cylindres.

Les dispositions des tiroirs permettent d'interrompre à volonté, plus tôt ou plus tard, l'introduction de la vapeur dans les cylindres, et par conséquent d'avoir une détente variable.

Le système adopté pour la marche en avant et pour la marche en arrière, est encore le système à deux excentriques par machine et la coulisse de Stephenson.

1129. *Données et résultats des machines des deux avisos la Biche et la Pomone.*

Poids de chaque appareil complet, compris l'eau,	kil.	62900
Tirant d'eau des navires pendant les essais, à l'arrière,	mèt.	4,33
Id. id. id. à l'avant,		3,30
Différence,		1,03
Tirant d'eau moyen,		3,805
Surface plongée du maître couple, au tirant moyen,		20,90
La force nominale de 120 chevaux donne par mètre carré plongé,	chev.	5,74

Moyenne des coups de piston par minute,	moy. 53,87
Sur cinq heures de marche, sans un seul arrêt, sillage moyen,	nœuds 8,5
On a souvent atteint	10
Vitesse de l'hélice à 10 nœuds,	tours 80
Vitesse des machines à 10 nœuds,	60
la vapeur est toujours abondante.	
Pas moyen de l'hélice,	mèt. 3,50
Vitesse d'impulsion par seconde,	4,82
Recul de l'hélice,	0,102
ou un dixième environ.	
Avec la vapeur à basse pression pendant les 94/100 de la course, densité de la vapeur,	kil. 0,00058
Coups de piston par minute,	49
Manomètres des chaudières, de	cf. mt. 20 à 25
Travail,	kmt. 4086
Ou en chevaux-vapeur,	chev. 136
A 5/10 d'introduction, avec détente de moitié et une pression de 53 centimètres dans les cylindres, avant la détente (par le calcul), travail réel en chevaux-vapeur,	164,40

Consommation de houille.

Houille brûlant vivement, très-flambante et légère :	
Avec vent de bout, houille brûlée en 1 heure 50 minutes,	
ou en 110 minutes,	kil. 1230
Houille par heure et par cheval de travail réel, sur	
164,40 chevaux,	4

Des steamers transatlantiques.

1130. *Conditions mécaniques à remplir pour assurer d'avance, le succès de ces services en France.* — Une brochure publiée en 1857 sur les *bateaux transatlantiques*, par M. Charles Laboulaye, auteur du *Dictionnaire des Arts et Manufactures* (1), a traité avec autant de hardiesse que d'originalité les questions relatives aux divers éléments qui entrent dans l'installation des bateaux transatlantiques, que l'on doit établir en France, pour y réunir

(1) *Des bateaux transatlantiques*, par Ch. Laboulaye. Chez MM. Lacroix et Baudry, librairie industrielle, 15, quai Malaquais.

tous les perfectionnements que la science et l'expérience indiquent aujourd'hui, et pour assurer aux navires qui vont être construits, une supériorité notable de marche sur les bateaux transatlantiques les plus parfaits qui font le service de l'Amérique, nous parlons de la *Persia*, de 3,500 tonneaux, de la compagnie Cunard, d'Halifax au Canada, et du *Vanderbilt*, navire américain de 4,000 tonneaux, de la compagnie Collins, plus grand et plus puissant que ceux de la compagnie Cunard, et qui a fait de suite la traversée en deux jours de moins.

M. Laboulaye dit d'abord qu'aujourd'hui la presque totalité des transports transatlantiques entre l'Europe et l'Amérique, voyageurs et marchandises, est dans les mains de la compagnie anglaise Cunard, qui enlève en France 60,000 tonnes de marchandises de prix par an et qui est soutenue par une subvention considérable du gouvernement anglais, subvention retrouvée en presque totalité par les bénéfices de la poste aux lettres ; le reste des transports appartient à la compagnie américaine Collins, à qui le Parlement a voté une subvention plus forte encore.

La première a créé avec l'Amérique du Nord, un service hebdomadaire d'une régularité admirable, sans avoir eu un seul accident sérieux.

1131. M. Laboulaye ajoute que, pour faire une concurrence efficace à des services ainsi organisés depuis longtemps, il faut que la France commence avec des navires aussi grands que les plus grands navires des deux compagnies Cunard et Collins, mais avec de nouveaux éléments mécaniques qui assurent à nos bateaux à vapeur une vitesse supérieure et une économie plus grande de combustible. Ces nouveaux éléments mécaniques sont nés en France, où ils ont déjà fait une révolution dans les *machines fixes*. Leur point de départ est l'emploi des hautes pressions et des grandes détentes, auxquels M. Laboulaye ajoute d'autres éléments pratiques qui en complètent et en augmenteront beaucoup les puissances et les résultats.

D'ailleurs, la création d'une flotte de paquebots transatlantiques à vapeur, serait, en cas de guerre, un puissant auxiliaire

à notre marine militaire, à qui elle assure alors de larges moyens de transport. C'est en accroissant le tonnage des navires, ce qui permet d'augmenter la puissance des machines, que l'on augmente leur vitesse.

Nos rivaux sont maîtres depuis trop longtemps de ce service, pour qu'on puisse ouvrir une concurrence, sans des moyens au moins égaux aux leurs et avec des voyages aussi fréquents.

La ruine attend toute tentative faite sur d'autres bases, et qui voudrait faire concurrence à la navigation à voile avec des navires de 1,500 ou 1,800 tonnes et de 4 ou 500 chevaux de force; le fret des voyageurs et des marchandises, qui est réglé sur les dimensions libres du navire, après ses machines et sa houille et sur la durée de la traversée, est évidemment beaucoup plus cher dans les petits, que dans les grands navires.

La compagnie Cunard, elle-même, s'est débarrassée au plus tôt de quatre petits navires qui étaient destinés au service de la malle-poste, entre Liverpool et Boston.

Les petits navires à vapeur sont écrasés entre la navigation à voile, qui enlève tout ce qui n'a pas besoin d'arriver à jour fixe, et les grands bâtiments à vapeur qui prennent tous les voyageurs et les marchandises chères ou pressées d'arriver.

Partout les grandes compagnies qui prospèrent, dans l'Atlantique, dans la Méditerranée ou dans la mer des Indes, ont depuis 1840 jusqu'aujourd'hui, passé des paquebots de 80 chevaux à ceux de 360, et de 400 chevaux à 800 et à 1,000 chevaux, comme la *Persia* et la *Plata*.

Le Havre, point d'embarquement des voyageurs et des marchandises de Paris, à cause de son chemin de fer et de la Seine, peut probablement recevoir ces grands navires, au moyen de travaux à étudier.

Brest, au besoin, serait dans une position bien plus favorable que Liverpool, pour des navires qui doivent recevoir les produits et les voyageurs de toute l'Europe.

La fréquence et la régularité des départs sont aussi la condition du succès; il faut donc que les transatlantiques français dé-

passent le service étranger pour la vitesse, et partent une fois par semaine pour New-York et une fois par mois, pour le Brésil et les Antilles.

Le service ne peut se faire avec succès qu'au moyen de navires de 3,000 tonneaux et de 1,000 chevaux.

Comme les connaissances industrielles et scientifiques à la fois, qui sont si puissantes en France, doivent concourir à la création de ces paquebots transatlantiques, M. Laboulaye les y appelle, en entamant lui-même cette grave discussion.

1132. *Travail moteur, consommation du combustible, chaudières et fourneaux.* — Les derniers progrès des sciences physiques constatent une relation intime entre la production de chaleur et la quantité de travail mécanique que peut produire l'unité de chaleur ou la calorie. MM. Joude et Mayer estiment cette quantité à 430 kilogrammètres; les recherches et les expériences de M. Laboulaye, que l'on trouvera dans l'appendice de ce volume, prouvent que cette quantité ne dépasse pas 130 ou 140 kilogrammètres; en adoptant cependant ce nombre, il reste encore une grande marge aux imperfections pratiques pour réaliser d'immenses progrès, sur ce qui existe aujourd'hui en machines de mer.

1 kil. de houille produit 7,500 calories par la combustion. Il donne donc $7,500 \times 140$ kilogrammètres = 1,075,000 kmt.

Le cheval-vapeur compté à 75 kilogrammètres par seconde répond, par heure, à. 270,000 kmt.

La force d'un cheval ne demanderait donc théoriquement qu'un tiers de kilog. de houille par heure. Les machines de Cornouailles, les appareils les plus parfaits connus, brûlent 1 kil. par cheval; elles rendent donc 33 0/0 à peu près d'effet utile, et il y a deux tiers de puissance de perdue, en comptant les pertes par la cheminée.

Il doit certainement être possible aujourd'hui, par des dispositions bien connues et déjà employées dans les machines fixes et les locomotives, de réduire la consommation des machines marines à 2 kilog., ce qui est beaucoup au-dessus de la dépense des

machines fixes de Farcot. On voit que nous sommes arrivés au commencement de cet article à la même conclusion que M. Laboulaye, et comme les machines de M. Farcot sont horizontales, le rapprochement est plus complet encore et la certitude des résultats est entière.

La plupart des machines marines, et notamment celles à basse pression, consommant 4 kil. par cheval, il y a à réaliser une économie de moitié, qui, pour une machine de 1,200 chevaux, donnerait 20,000 francs par voyage et 2 millions par an, c'est-à-dire 4 millions au moins, à cause de l'emplacement devenu libre, pour du fret à réaliser en plus.

1133. *Chaudières.* — Ce qui manque aux chaudières de marine avec leurs cheminées si basses, c'est le tirage; c'est un tirage assez puissant pour avoir une bonne combustion, pas de fumée et une production énergique et rapide de vapeur.

Les locomotives qui ont aussi de courtes cheminées ne donnent cette puissance de production qu'à l'aide de l'appel forcé du jet de vapeur, appel qui les amène à ne consommer que 1 kil. 80 de coke par cheval à l'heure; on connaît l'exemple de deux chaudières à peu près semblables de bateaux de rivière, dont l'une produisait cinq fois plus de vapeur que l'autre, parce que celle-ci avait un jet de vapeur dans la cheminée; la chaudière tubulaire avec un appel forcé, réalisera sur mer le problème de la vaporisation rapide, comme elle l'a fait avec le jet de vapeur, dans les locomotives.

M. Laboulaye fixe la pression à adopter à 2 atmosphères; ou à 120° quoiqu'on aille déjà beaucoup plus haut, surtout en Amérique, et comme cette pression ne serait pas suffisante pour envoyer la vapeur dans la cheminée, il propose l'emploi d'un *ventilateur aspirant*, qui, monté sur la locomotive de Braitwhaite et Ericson, a déjà donné de si beaux résultats dans le concours de Manchester et dans la ventilation des mines, comme nous l'avons dit (277).

1134. Pour brûler 3,000 kilog. de houille à l'heure, qui exigent 60,000 mètres cubes d'air, avec un ventilateur courbe,

il faut, d'après M. Guépin, une puissance de 12 chevaux et une dépense de 50 kilog. de houille, soit $1/60^e$ du combustible à brûler, au lieu d'un tiers au moins, qu'enlèvent les cheminées les plus économiques.

L'emploi du ventilateur soufflant dans l'appareil Beaufuné est tout à fait pratique aujourd'hui. L'application du ventilateur aspirant est plus simple et plus sûre. Quant aux incrustations formées, surtout en mer, par les dépôts de sel marin et de sulfate de chaux, et de boues, M. Laboulaye conseille d'accroître le travail de la pompe de désaturation et de lui faire enlever les eaux saturées d'une manière continue en entraînant, avant qu'ils y adhèrent, les dépôts qui se forment au fond de la chaudière; ce qui permettrait certainement de régler la pression à 2 ou 2 1/2 atmosphères.

Le condenseur de Hall et celui de Sauvage permettraient seuls d'aller au delà, si la pratique sanctionnait le travail du second, le premier étant abandonné partout.

M. Laboulaye propose aussi une nouvelle disposition de condenseur tubulaire qui nous paraît plus pratique que les autres, et il insiste avec raison sur la nécessité d'avoir de très-grands réservoirs de vapeur, pour mieux dépouiller celle-ci de l'eau qu'elle emporte avec elle.

1135. *Machines à vapeur.* — L'emploi des basses pressions et des bâtis en fonte sur les modèles de Watt, augmente énormément les poids des machines, et contribue, avec le mauvais emploi de la chaleur, à rendre impossible la vitesse qui est nécessaire et qui pourrait être atteinte avec certitude. Dans la grande navigation, le doublement de la pression, l'accroissement de la vitesse et de la course du piston, le système horizontal à action directe et les bâtis en fer, réduiront beaucoup ces poids inutiles et nuisibles.

La navigation fluviale en a donné l'exemple : quoique sur mer, les ébranlements et les chocs continuels, rendent moindres les réductions possibles de poids.

L'adoption des grandes détentes, avec une chemise légère et

solide autour du cylindre, pour y faire passer la vapeur avant qu'elle travaille sur le piston, sont la condition d'un bon emploi de son travail mécanique.

Il faut donc 30 centimètres de vitesse par seconde au piston et une détente de trois fois le volume primitif, détente qui double le travail de la vapeur à pleine pression. D'après M. Laboulaye, la bielle doit agir directement sur l'arbre du propulseur, et le bâti, placé plus bas que l'arbre, pour la plus grande stabilité du navire, doit être incliné, ce qui permettra d'augmenter la longueur de la bielle et la vitesse du piston.

Dans ces grandes puissances de machines, les cylindres ont un trop grand diamètre pour obtenir une action assez énergique de la vapeur de la chemise sur le centre du cylindre; il vaut donc mieux avoir six cylindres de 1^m,40 de diamètre seulement, de 2 mètres de course et de 1^m,30 de vitesse par seconde, ce qui répond à 20 révolutions par minute.

Avec six cylindres, 1^m,40 de diamètre, 2 mètres de course et 1^m,30 de vitesse de piston, et un tour de roue par trois secondes, ou 20 révolutions d'arbre par minute, le travail des six cylindres sera de 1,400 chevaux.

La consommation de vapeur par heure sera de 16,000 k. à raison de 6 ou 7 kil. de vapeur pour 1 kil. de houille, la dépense de houille par heure sera de 2,500 kil. ou de 70 tonneaux par vingt-quatre heures; la manivelle aurait 1 mètre et la bielle quatre et demie ou cinq fois la manivelle; la base du triangle du demi-bâti sera de. 6 mètres.

1135. *Machines accessoires.* — Deux machines de 40 à 50 chevaux chacune, fonctionnant dans les conditions les plus parfaites de travail, seraient placées au-dessus des autres cylindres et conduiraient les pompes alimentaires, celles de désaturation et celles des condenseurs à surface métallique, proposés par l'auteur, et qui réduiraient beaucoup le travail des pompes à air, estimé ordinairement à 1/10^e du travail moteur, total.

1136. *Condenseurs à surface métallique.* — M. Laboulaye veut établir dans chaque bâti double, qui porte un cylindre, une

caisse en forte tôle de 7 mètres de longueur, 2 mètres de largeur et 3 mètres de profondeur, soit 43 mètres cubes; ces caisses seraient remplies de tubes verticaux plus rapprochés et un peu moins épais que ceux des locomotives, et qui donneraient facilement 4 ou 500 mètres carrés de surface de condenseurs, très-faciles à nettoyer et par conséquent à l'abri des incrustations.

L'eau de mer serait introduite dans un double fond placé sous tous les tubes; elle les traverserait en montant; là elle s'échaufferait modérément, elle se réunirait dans une boîte supérieure, d'où une pompe la rejetterait dans la mer, très-peu au-dessus du niveau de la bêche.

La vapeur qui a travaillé dans les cylindres, serait introduite dans la capacité refroidie, elle s'y condenserait et irait achever de se détruire dans un petit condenseur, qui n'aurait alors que peu de travail à faire.

Avec ces dispositions, un quart du poids de la vapeur à condenser suffirait en eau introduite, au lieu de trente fois son poids, comme l'exigent les condenseurs ordinaires.

Cet appareil de 500 mètres carrés condensera certainement, suivant l'auteur, moitié de la vapeur consommée par les machines; il y aurait donc au moins la vapeur de deux cylindres, de condensée.

Comme on n'a renoncé au condenseur de Hall que pour ses difficultés de nettoyage, l'emploi des tubes verticaux, lèverait toute difficulté.

Nous dirons, relativement à la quantité de vapeur qui est condensée par une surface métallique, avec un courant d'eau constant, courant qui se renouvelle par derrière, et un courant constant de vapeur marchant en sens contraire de l'eau, que des expériences données par Pécelet, à propos des serpentins des appareils distillatoires, prouvent que quand il y a un courant de vapeur, 1 mètre carré de métal condense 100 kil. de vapeur à l'heure.

Or, comme les 500 mètres des condenseurs n'ont à condenser par heure que 16,000 de vapeur ensemble, ou 32 kil. chacun,

il est évident que les 16,000 kil qui sortiront des cylindres, seront entièrement condensés par l'appareil de 500 mètres.

1137. *Nouveaux systèmes de machines à vapeur.* — L'auteur passe en revue plusieurs systèmes nouveaux de machines à vapeur qui, suivant lui, reposent sur des erreurs, comme le système Siemens, à vapeur régénérée et la machine à air d'Ericson.

Quant à la machine de M. Dutremblay, où la vapeur d'eau est employée concurremment avec un liquide qui se met en vapeur à une basse température, comme l'éther et le chloroforme, l'inventeur du système a reconnu lui-même, qu'il n'y avait là de bénéfique, qu'une petite quantité de puissance en plus, due à l'action de la vapeur de l'éther.

M. Laboulaye observe, avec toute raison, qu'il y a aujourd'hui encore, à réaliser dans les machines qui nous occupent de si grandes économies de puissance mécanique, en vapeur et en combustible, que la faible économie donnée par la seconde vapeur, est tout à fait nulle, au milieu des premières.

Nous sommes entièrement de l'avis de M. Laboulaye, sur ces trois nouveaux systèmes de machines à vapeur.

1138. *Du travail moteur et des propulseurs.* — Les roues à pales font agir sur le liquide de grandes surfaces qui offrent un point d'appui, et permettent un très-bon emploi de la puissance produite et une bonne marche des machines à vitesse modérée; mais, dans les grands steamers, l'eau est entraînée et projetée par des pales trop grandes. Tous les bateaux à grande vitesse sont cependant à pales; les hélices ne peuvent pas leur faire concurrence, pour la vitesse.

Ce sont donc des roues à pales que M. Laboulaye veut monter sur ses puissantes machines de 1,400 chevaux. Cependant, comme l'hélice a l'avantage d'être toujours couverte d'eau pendant les plus gros temps, tandis que les roues à pales sortent à tout moment de la mer pour tourner dans l'air, ce qui nuit beaucoup à leur puissance, il y a un grand intérêt, pour obtenir le maximum de vitesse, au prix d'une dépense plus grande d'installation, à réunir sur les transatlantiques français, qui doivent

être construits, les deux systèmes propulseurs, les roues à pales, pour le temps où la mer est assez calme, et l'hélice pour aider les premières dans les gros temps. L'hélice est, d'ailleurs, très-utile pour manœuvrer les longs bateaux. L'idée de cette réunion est due à Brunel, dans le projet du *Léviathan*, et un plein succès couronnera certainement la prévoyante pensée de l'illustre ingénieur.

Comme on ne peut pas faire agir sur l'hélice, dans un bâtiment transatlantique de 3,000 tonneaux, les machines aussi grandes que celles du *Napoléon*, M. Laboulaye propose d'installer à bord une ou deux locomotives de 250 chevaux, qui ne pèseront que 20 tonnes chacune, et qui donneront directement les 200 tours par minute, que réclame l'hélice. La vitesse de rotation de l'hélice se refuse toujours à l'emploi des machines à basse pression, à petite vitesse, tandis que l'addition des locomotives, le chef-d'œuvre de la mécanique moderne, est la solution complète de ce difficile problème.

La meilleure place à donner à cet instrument sur un navire est à étudier.

L'auteur pense qu'avec des condenseurs tubulaires, on peut alimenter à bord deux locomotives de 500 chevaux ensemble; avec la détente et l'emploi des roues à pales, la houille consommée par vingt-quatre heures sera de 60 tonnes; seulement on peut donc en consacrer 25 aux locomotives de l'hélice et augmenter beaucoup le travail moteur et sa bonne utilisation par tous les temps, sans augmenter ni le poids, ni la dépense, ni l'approvisionnement, relativement aux bateaux actuels de 1,500 chevaux.

1139. *Vitesse*. — En restant dans les mêmes conditions de poids et de dimensions et avec des forces proportionnelles aux cubes des vitesses, comme l'*Arabia* de 960 chevaux, a une vitesse moyenne de 11,5 nœuds, on dépasserait 15 nœuds, puisqu'on disposerait de moyens de propulsion beaucoup mieux combinés; et avec deux appareils différents, tout arrêt de l'un des deux systèmes, en route, permettrait de continuer à marcher encore convenablement avec l'autre.

1140. *Dimensions des coques de navires.* — Le succès dépend de la plus grande vitesse possible, réunie à un tonnage plus élevé, afin de couvrir l'augmentation des frais de construction. Puisque la victoire appartient partout aux plus grands navires, c'est qu'en effet, le principe de l'accroissement du tonnage, comme moyen d'augmenter la puissance des machines, plus rapidement que la résistance, ne peut être contesté; mais la proportion n'existe pas au-dessus de certaines limites.

Les questions de solidité de construction s'y mêlent aussi, et Brunel n'a entrepris le *Léviathan* que parce qu'il disposait du système tubulaire, qui a donné de si beaux résultats sur le pont *Britannia*, et aussi parce que cet énorme navire, destiné à la navigation avec l'Australie, devait emporter d'Angleterre sa provision de houille pour l'aller et le retour.

En dehors de ce nouveau steamer, la *Persia* de 3,500 tonnes et le *Vanderbilt* étant les plus grands, les plus puissants navires à vapeur de ceux qui font le service transatlantique, avec le maximum de vitesse et avec un succès hors ligne, il ne faut pas dépasser les dimensions de 3,500 ou 4,000 tonnes, au delà desquelles on ne doit chercher un accroissement de vitesse que dans un meilleur emploi de la vapeur et de la puissance mécanique développée. Nos bateaux auront donc 100 mètres de long, 14 mètres de large, rapport reconnu le meilleur, et de 7 à 9 mètres de creux; avec ces navires, on peut battre sur mer les Anglais, qui ne savent pas employer les *hautes pressions*, comme nous les avons battus sur le Rhin et le Rhône.

Les bateaux de mer sont en tôles croisées, modèle excellent à suivre pour réunir la légèreté et la solidité; on ajouterait au milieu des transatlantiques et en dedans, un bouclier tubulaire qui préserverait les machines et le navire des résultats d'un abordage.

1141. *Formes du navire, sa rigidité.* — Ce problème si compliqué pour la science a été fort heureusement résolu par la pratique, et M. Laboulaye en discute les conditions principales et aussi le problème relatif aux conditions les meilleures de trans-

mission de mouvement, questions dans lesquelles nous ne le suivrons pas, ne voulant nous occuper des transatlantiques que sous le rapport de leurs machines à vapeur, de leurs chaudières et du système de propulsion à choisir. Nous signalerons seulement la proposition d'injecter 1 ou 2 mètres cubes d'air par seconde, vers le milieu de l'avant du navire, pour diminuer l'adhérence de l'eau, à la coque du navire et rendre plus facile la pénétration de la proue, dans la mer qui la reçoit.

La construction que M. Laboulaye conseille, se résume en un navire de 3,500 à 4,000 tonnes, de 100 mètres sur 14 mètres, de 7 à 1 de rapport de longueur, construit en tôles croisées, avec des poutres tubulaires vers le milieu, des chaudières tubulaires à deux atmosphères, avec un ventilateur aspirant les produits de la combustion, des machines à vapeur inclinées agissant sur des roues à pales et un détente de 1 à 3.

Vitesse du piston,	mèt.	1,30
Diamètre des cylindres,		1,40
Course,		2
Nombre de cylindres,		6
Travail,	chev.	1400
Consommation par 24 heures,	tonnes	60 ou 70

A l'arrière deux machines locomotives de 500 chevaux ensemble, alimentées par l'eau distillée des condenseurs.

Consommation de houille des locomotives par 24 heures,	tonnes	20
Consommation totale pour 2000 chevaux,		100

Durée de la traversée réduite d'un quart, sur les meilleurs bateaux.

Deux machines auxiliaires de 100 chevaux ensemble faisant mouvoir les pompes alimentaires, celles de désaturation, celles des condenseurs métalliques et le ventilateur qui injecte de l'air sous le navire.

Avec ces conditions de construction perfectionnée, toutes immédiatement réalisables en pratique, on fera en huit jours la traversée du Havre ou de Brest à New-York, ce qui sera un

immense résultat acquis, dans l'intérêt du commerce français et en même temps, comme question d'application de la science.

1142. *Machines transatlantiques à deux cylindres de 250 chevaux de la maison Cockerill et C^{ie}, à Seraing (Belgique), directeur M. Pastor, ingénieur en chef M. Brialmont.* — Les belles machines que nous donnons (*pl.* 39 à 42, *fig.* 120 à 123) et dont les résultats nous ont été communiqués par M. Pastor, directeur des usines de Seraing, sont publiées dans le *Portefeuille des ateliers de John Cockerill*. Elles sont représentées avec tous leurs détails dans cinq magnifiques gravures. Cet ouvrage est publié par M. Noblet, libraire-éditeur à Paris et à Liège, à l'obligeance duquel, en même temps qu'à celle de M. Pastor, nous devons l'autorisation de comprendre ces dessins, dans le second volume du *Guide du chauffeur* et d'y ajouter le texte de la description si remarquable qui les accompagne.

Ces machines à basse pression sont d'un système tout différent que les machines horizontales de la marine militaire, dont les dispositions générales sont exigées par la condition de cacher tout le mécanisme au-dessous de la ligne de flottaison, dispositions qui ne sont plus les mêmes que celles des steamers destinés à la grande navigation. Ici les machines sont verticales; chacun des deux cylindres est porté sur quatre colonnes de fer forgé de 0^m,20, reliées entre elles et entre-toisées sur la hauteur, par trois boulons en fer et par des entre-toises en fonte.

1143. Les cylindres sont placés au-dessus de l'arbre des manivelles et de l'hélice, arbre qui passe ainsi entre les colonnes. Les plateaux des cylindres et les stuffingbox par lesquels sortent les tiges des pistons, sont au-dessous des cylindres.

Chaque piston a deux tiges de 0^m,121, réunies par une crosse qui transmet le mouvement à une des deux manivelles, à l'aide d'une bielle en fuseau, de 0^m,178 au centre et de 0^m,166 aux extrémités; ces cylindres, placés en haut, ont plusieurs avantages :

D'abord, toutes les pièces qui fatiguent, sont faciles à visiter, à surveiller et à changer.

Puis, l'effort transmis par les manivelles, à l'arbre de couche agit de haut en bas, c'est-à-dire perpendiculairement à la direction des paliers; ce sont là deux conditions très-importantes dans une grande machine qui doit faire, avec les moindres chances d'avaries possibles, de longues traversées et un rude service, et résister à des coups de mer très-violents.

Force nominale,	chev. 250
Diamètre de chaque cylindre,	mèt. 1,525
Course,	1,22

Les cylindres sont portés, comme nous l'avons dit, sur quatre colonnes en fer forgé, dont la base s'engage dans un soubassement en fonte, de larges dimensions, avec lequel sont venus les paliers de l'arbre moteur; pour des appareils aussi puissants, la force des points d'appui des bases de la machine, est la première condition du travail et d'une bonne conservation des appareils. Les supports des machines horizontales sont moins solides que ceux-ci.

La plaque qui porte la machine est un châssis à trois compartiments évidés, fondue en deux parties boulonnées ensemble, de 0,432 de vide et 0,038 d'épaisseur.

Longueur du soubassement,	mèt. 2,50
Largeur,	5,10

Une semelle en bois la sépare des carlingues.

L'effort résultant de la pression de la vapeur contre le fond et le couvercle du cylindre et réagissant directement sur le soubassement, est de 94,000 k°.

Les huit colonnes s'engagent à frottement sec, dans le soubassement, où les maintiennent des clavettes de 0,15 sur 0,04.

L'arbre moteur porte là sur quatre paliers et cet arbre se trouve placé très-bas, ce qui est favorable à la stabilité de l'appareil et du navire.

L'épaisseur des coussinets en dessous est de	mèt. 0,035
L'épaisseur latérale de	0,025
Les chapeaux sont en fer de l'épaisseur de	0,130

et tenus par quatre boulons à écrous avec des plaques découpées, pour éviter le desserrage : une boîte à graisse est venue avec le chapeau.

Le soubassement est réuni aux condenseurs et aux pompes à air par des parties frettées et d'autres boulonnées. Des précautions sont prises partout pour le serrage, ou le changement facile des écrous des boulons.

Voici la suite de la description de ces machines, prise dans le Portefeuille de John Cockerill :

1144. *Bâti*.— Passant maintenant à la réunion du soubassement avec les cylindres, on voit qu'il s'opère, au moyen de huit colonnes en fer forgé E E, ayant environ 3^m,35 de hauteur entre base et chapiteau, et 205 millimètres de diamètre. Chacune de ces colonnes, ainsi qu'on l'a dit précédemment, supporte un effort d'environ 11,750 kilos, quant à la traction, d'où il y a à déduire le poids des cylindres et des chapelles qu'il faut ajouter, au contraire, pour la compression. Ce diamètre de 0,205 donnant une surface de 33,000 millimètres environ, on voit qu'il y a sécurité des plus complètes, quant à la parfaite résistance des colonnes à ces efforts; l'ajustement étant, du reste, tellement combiné, qu'elles n'ont réellement à supporter que des efforts de traction et de compression, et que la flexion ne peut se produire et altérer leur résistance.

A l'endroit même du boulon à écrou qui les réunit au cylindre et où le diamètre n'est que de 0,140 en dedans du filet, on voit que la section de 15,393 millimètres carrés, n'a pas même 1 kilo de traction à supporter par millimètre. On a dit que, par la base, ces colonnes sont simplement assemblées à clavette avec le soubassement; terminées supérieurement par un chapiteau prolongé par une partie cylindrique bien tournée, elles s'engagent par cette partie dans les fortes douilles *a'' a''*, coulées avec le cylindre et alésées sur toute leur hauteur, qui est de 36 centimètres environ. Le chapiteau forme naturellement épaulement contre cette douille, et c'est sur cette surface annulaire en saillie, que pèse le poids du cylindre et

que s'exerce l'effort résultant de la pression contre le fond.

Cet épaulement a un diamètre extérieur de 0,80 et sa surface annulaire est de 0,048177 carrés, sur laquelle agit la pression de la vapeur contre le fond, plus le poids propre des cylindres et chapelles. Terminées supérieurement par un pas de vis, les colonnes sont assemblées au cylindre au moyen d'un écrou ayant environ 15 centimètres de hauteur, serré fortement contre les douilles *a'' a''*.

On répétera ici l'observation faite précédemment, quant à la perfection de travail qu'appelle un tel ajustement : la plus rigoureuse exactitude doit, en effet, présider au travail du tour et de l'alésoir, pour que de tels emmanchements soient possibles, et offrent la force de résistance et la parfaite stabilité dont ils ont donné les garanties les plus complètes.

1145. Les colonnes ne sont pas cylindriques d'un bout à l'autre ; leur fût est partagé en trois parties inégales, par des renflements sphériques, ayant 33 centimètres de diamètre. On fera remarquer qu'elles ne constituent pas seulement, en effet, le lien réunissant les cylindres à l'arbre moteur et sur lequel s'exercent tous les efforts verticaux développés pendant le travail, et tendant à disjoindre les assemblages, mais qu'elles doivent accessoirement encore résister à une poussée latérale fort intense et qui les fléchirait si elles n'offraient pas la force de résistance nécessaire. Les guides des tiges de piston sont, en effet, réunis à ces colonnes et leur transmettent la pression latérale à laquelle donne naissance l'obliquité de bielles, de longueur égale à environ quatre fois le rayon de la manivelle ; les renflements sphériques, dont il a été parlé, sont destinés à l'emmanchement de ces guides.

1146. *Guides des tiges du piston.* — Ces organes MM sont en fonte et présentent une forme en double T. Leurs joues de contact avec les surfaces de glissement des galets ou coulisseaux, dont est munie la traverse-tête des tiges, ont une largeur de 25 centimètres ; l'épaisseur de la tige, réunissant les deux saillies, est de 33 millimètres. Ils présentent à leurs deux extrémités et par leur milieu des renflements cylindriques, dont la longueur

ou portée, atteint 34 centimètres; ils sont, du reste, séparés deux à deux par un espace libre de 36 centimètres environ, égal à la largeur du coulisseau et dans lequel il se meut. Les renflements dont ils sont munis sont percés d'un trou correspondant exactement avec le centre de chaque partie sphérique des colonnes, lesquelles présentent, du reste, chacune, trois méplats constituant les faces d'assemblage avec ces guides. En outre, le condenseur et les supports EE qui les surmontent, et dont il sera parlé plus loin, offrent de longues douilles ou busclures, venues de fonte avec eux, juste au droit et dans l'axe des trois parties d'assemblage des guides.

Si l'on suppose maintenant les douilles bien alésées que présentent les colonnes, les guides et le condenseur, juste au droit et exactement dans l'axe l'une de l'autre, on conçoit qu'il devient facile de les réunir parfaitement et d'établir une solidarité entière entre toutes ces parties, par le simple emmanchement d'un gros boulon cylindré et calibré au diamètre du trou sur toute sa longueur, et serré contre la paroi, ou face externe du condenseur, au moyen d'un fort écrou.

1147. L'écartement est maintenu entre les guides, par deux entre-toises en fonte disposées à leurs deux extrémités, entre-toises enfilées dans les boulons dont il vient d'être parlé. La même disposition existe pour maintenir aussi invariable la distance entre les colonnes intérieures et le condenseur des entre-toises NN épaulant tout l'assemblage. Il est inutile de dire que toutes les faces d'assemblage des colonnes, des guides et du condenseur sont rigoureusement dressées, et que l'alésage des douilles a eu lieu après la mise en place des différentes pièces du bâti et alors que la position respective de ces différentes parties a été rigoureusement établie; par ce moyen seul on pouvait obtenir la correspondance mathématique des axes.

On comprend quelle force de résistance doit présenter un tel mode d'assemblage, les efforts à supporter se répartissant sur le système tout entier, et les colonnes et le condenseur étant solitaires de la poussée dans quelque sens qu'elle s'exerce. En même

temps on relie, on unit les colonnes formant le bâti, dont les différentes parties resteraient sans cela isolées et sans autre relation que par leurs extrémités d'assemblage, on forme du tout un corps homogène et résistant dans tous les sens, et, en unissant ce bâti aux masses que présente le condenseur, on le fait participer aux qualités toutes spéciales des corps à grandes dimensions et à lourd poids, c'est-à-dire on lui communique leur stabilité et leur résistance aux vibrations.

1148. *Cylindres et boîtes à vapeur et soupapes d'expansion.* — Le mode d'assemblage des cylindres A A aux colonnes du bâti étant ainsi établi, il reste à faire connaître comment s'opère la liaison de ceux-ci entre eux. A cet effet, ils sont venus de fonte avec une bride rectangulaire N' N', ayant toute leur hauteur et formant en quelque sorte, de part et d'autre, le prolongement de la table des lumières. Quant à la boîte à vapeur, scindée en deux parties par une grande cloison intérieure, elle est réunie aux deux cylindres par des brides de même forme et de mêmes dimensions que celles dont il vient d'être question, l'assemblage ayant lieu de chaque côté au moyen de dix forts boulons à écrous. Par cette disposition, on peut encore juger du degré d'exactitude que doit présenter le travail, car la moindre déviation de parallélisme dans les axes, suffirait ici pour rendre impossible l'exécution des joints réunissant ensemble les deux cylindres et la chapelle.

Passant maintenant au mode de distribution de la vapeur dans les cylindres et aux formes et dimensions données à ceux-ci, on trouvera, par l'examen des planches, que les tuyaux d'arrivée de vapeur sont branchés de part et d'autre de la boîte à vapeur et viennent déboucher et se réunir chacun par des brides à un modérateur C, dans lequel est disposé un papillon, qu'au moyen d'un renvoi de mouvement, il est facile de faire mouvoir du palier même du machiniste. Ces modérateurs sont boulonnés aux brides correspondantes que présente une cuvette ou boîte B venue de fonte avec la chapelle, et renfermant une soupape d'expansion à double siège et à pression équilibrée, de même forme

que celles que l'on emploie généralement dans les machines d'épuisement.

1149. Ainsi, au moyen du régulateur, on peut mettre en train ou arrêter les machines; quant aux soupapes d'expansion, elles procurent la faculté précieuse de mettre les circonstances de la distribution toujours en rapport avec l'effet utile à produire, sans étrangler l'arrivée de la vapeur ni constituer des pertes de pression, mais en utilisant, au contraire, toute sa force expansive et en continuant à jouir des avantages économiques que peut procurer une pression effective, maximum *d'une atmosphère un tiers environ dans ces conditions.*

La résistance, en effet, est loin d'être toujours constante; elle varie suivant l'état de la mer, la direction du vent, etc. Quand ce dernier est favorable, le navire s'aide des voiles qu'il porte; on conçoit alors combien le travail à expansion offre d'avantages économiques, du moment où l'on ne veut pas augmenter la vitesse du sillage. La section des tuyaux d'arrivée de vapeur est de 0,415 centimètres carrés; quant à la soupape d'expansion, elle donne une levée de 0,03, et les circonférences du double siège étant de 0,196 et 0,265, il s'ensuit que l'aire d'écoulement atteint 0,0433 centimètres carrés. Elle est en bronze ainsi que son siège. En parlant de la distribution générale, quant aux organes qui la commandent, on reviendra sur son mode d'action. Les cuvettes de la soupape débouchent de part et d'autre directement dans la boîte à vapeur, scindée en deux compartiments par une grande cloison double ayant 0,32 centimètres d'écartement de paroi.

Les deux conduits d'admission et d'échappement des cylindres débouchent chacun dans un de ces compartiments. Ils présentent : le premier, une section de $0,71 + 0,126$; le second, $0,710 + 0,222$. La grande section donnée aux lumières est particulièrement favorable à l'échappement rapide de la vapeur allant au condenseur, par conséquent à la diminution instantanée de la pression derrière le piston, quand cet orifice s'ouvre, alors surtout qu'elle est combinée avec une avance convenable à l'exhaustion.

Au reste, les soupapes d'expansion présentent l'avantage précieux de rendre les circonstances de l'admission indépendantes de celles de l'échappement, ce qui permet de régler le jeu et la marche du tiroir et de la soupape, de telle façon que la vapeur travaille dans les meilleures circonstances possibles. Avec la soupape, on obtient une admission instantanée, un grand orifice présenté subitement à l'écoulement, par conséquent peu de contraction et d'étirage de la vapeur, mais au contraire l'établissement rapide de la pression, et de plus une fermeture prompte aussi, et correspondant juste au degré de détente qu'on veut employer. Le tiroir, auquel on peut alors donner une certaine avance, sans marcher à contre-vapeur, permet de régler l'échappement comme il convient au plus grand effet utile, sans qu'on ait à redouter ni l'irrégularité de marche à laquelle donne naissance une période de compression, ni les pertes d'effet résultant d'un échappement anticipé. La coulisse de renversement de marche seule n'eût pas procuré les mêmes avantages, quant à la distribution, alors du moins qu'on veut employer la détente plus largement qu'au moyen du seul recouvrement donné aux bandes du tiroir. Dans tous les cas, dans les machines de cette nature, les orifices d'écoulement offerts à la vapeur doivent être très-grands et rapidement ouverts, si l'on a égard à la grande vitesse du piston.

1150. Les cylindres ont une épaisseur de 38 millimètres environ. Ils sont entourés vers le milieu de leur hauteur, par un conduit annulaire FF formant ceinture, débouchant d'un côté dans la chapelle par la lumière de décharge avec laquelle il se réunit, et présentant, d'autre part, un orifice muni d'une bride recevant le tuyau FF, qui conduit la vapeur de l'échappement au condenseur.

Avec la plate-forme, ou table des lumières, sont coulées deux brides N' N' ayant 96 millimètres de largeur et 50 d'épaisseur, et régnant sur toute la hauteur du cylindre, auxquelles elles sont unies par la paroi plane des conduits, et par des nervures faisant prolongement aux brides et aux moulures des cylindres.

Deux mentonnets, ou talons en saillie sur la table, établissent une séparation avec la surface des brides. Les mentonnets règnent, du reste, aussi sur toute la hauteur, et ils sont parfaitement dressés ainsi que toutes les surfaces d'assemblage. La chapelle vient donc se réunir exactement aux parties précédentes par ses propres brides, formant cadre sur son pourtour; il en résulte une sorte d'emboîtement qui donne à l'assemblage des deux cylindres et de la chapelle, la résistance d'un ensemble venu d'une pièce.

On a dit que la chapelle est scindée en deux parties, par une double cloison ayant 30 millimètres d'épaisseur et constituant un compartiment distinct pour chaque tiroir.

L'espace demeuré libre entre ces deux cloisons offre aussi plusieurs compartiments. Deux d'entre eux correspondent avec les cuvelles des soupapes d'expansion. Ils forment une sorte de conduit rectangulaire ayant $0,126 + 0,370$ de section, et débouchant, l'un dans la chapelle du cylindre de droite, l'autre dans celle du cylindre de gauche, à une hauteur telle que le tiroir, par sa marche alternative, ne vienne jamais gêner l'écoulement de la vapeur. Quant au troisième compartiment existant entre les deux cloisons, il demeure entièrement libre, et les tringles des soupapes d'expansion y passent même et s'y meuvent sans obstacle. Ces deux cloisons sont, du reste, réunies par de fortes nervures, et leur face intérieure aux chapelles est parfaitement dressée, comme il sera dit ci-après.

1151. Le fond du cylindre est coulé avec le corps même, excepté toutefois la partie centrale portant les boîtes à étoupes, et dont le diamètre est d'un mètre environ. Non-seulement on diminue la surface du joint par cette disposition, mais on peut surtout rapprocher au minimum, de la paroi convexe des cylindres, les douilles d'assemblage A'' A' avec les colonnes; de plus, on assure une rigidité plus grande, et en même temps on obtient un démontage ou une mise en place plus facile et plus rapide, puisqu'il y a moins de boulons à dévisser et un poids plus léger à soulever. Les brides d'assemblage ont 90 millimètres de largeur,

et la hauteur de la saillie constituant l'entrée du couvercle est de 70 millimètres environ. Il est renforcé par des nervures se coupant d'équerre, et il en est de même de la partie du fond du cylindre qui le reçoit. Du reste, la disposition du bâti même exigeait ici ce système d'assemblage et ces dimensions données au fond.

On remarquera qu'il y a une double boîte à étoupes. Cet ajustement a été donné pour qu'on pût disposer d'un espace libre autour des tiges et y verser l'huile nécessaire au graissage. Cette petite poche existe donc intermédiairement aux deux chapeaux des boîtes à étoupes, la première garniture garantissant contre les fuites de vapeur, la seconde empêchant l'huile de suinter et de s'écouler le long de la tige. Ces boîtes à étoupes sont en fonte et munies de fourreaux en bronze.

Il est bon de dire maintenant quels sont les motifs qui ont fait donner deux tiges à chaque piston, alors que la bielle pouvait être simplement articulée à la suite d'une tige unique. Dans la disposition actuelle, lorsque le piston occupe le point le plus élevé de sa course, les écrous des têtes de bielle peuvent s'approcher assez près du fond du cylindre, tandis qu'avec une seule tige de piston il eût fallu réduire la longueur de celle-ci, d'une quantité assez forte, et l'on a vu que sa longueur actuelle ne dépassait pas quatre fois le rayon de la manivelle. On connaît assez les désavantages des bielles trop courtes, combinées surtout avec les grandes vitesses de piston. D'un autre côté, si l'on a égard à l'éloignement considérable des points d'appui ou de contact des coulisseaux contre les guides, qui est de 1^m,45 environ, on comprend que la traverse-tête des tiges est bien mieux roidie et fortifiée par cette disposition, qui donne des garanties et contre la flexion et contre les vibrations, et qu'en outre la rectitude parfaite du mouvement, dans un plan parfaitement vertical, est mieux assurée.

1152. Si l'on a égard aux grandes dimensions données aux lumières, on conçoit que les tiroirs doivent présenter une surface très-considérable, et que dès lors l'action de la vapeur qui presse

par-dessus rendrait leur manœuvre extrêmement pénible, lorsqu'il faut renverser le sens de la marche. Quoique cette circonstance ne se présente pas aussi fréquemment que pour les bateaux de rivière, il est cependant des occasions où la manœuvre du navire, exige impérieusement que l'on puisse marcher en arrière avec promptitude. Or, la distance en longueur entre les brides est de 0,738 centimètres et en largeur de 0,814. On a donc une surface de 0,6007 centimètres carrés, qui supporterait une pression de 7,800 kilogrammes environ, et donnerait lieu à un frottement d'environ 780 kilog., ou, pour les deux tiroirs de 1,500 à 1,600 kil. au moins.

1153. Dans de telles conditions, leur manœuvre, rapide à la main, serait presque impossible, quel que fût le mécanisme. Aussi ces tiroirs ont-ils été disposés de manière à n'avoir qu'une faible partie de leur surface pressée contre la table des lumières par la vapeur, la plus grande portion étant toujours en relation avec le condenseur et n'ayant à supporter que la faible pression qui y règne. A cet effet, on se rappellera que les grandes cloisons divisant la boîte à vapeur en deux chapelles spéciales à chaque cylindre, sont parfaitement dressées; or les tiroirs sont en contact par leur face de distribution avec la table des lumières, et par l'autre face parallèle, avec ses cloisons.

Ils sont disposés de manière à recevoir une garniture dans le genre de celle décrite pour le bateau l'*Ariane*, formée d'un anneau ayant 54 millimètres de largeur et un diamètre moyen de 66 centimètres. Cet anneau est pressé contre la partie dressée, par des ressorts à boudin distribués sur toute la circonférence. Comme après une longue marche et quand les ressorts sont fatigués, la vapeur pourrait repasser entre les faces en contact et venir passer sur la partie du tiroir qu'on a cherché à soustraire à son action, on a ménagé dans l'épaisseur même de la cloison dressée, un conduit communiquant avec le condenseur par un tuyau, et débouchant au centre derrière le tiroir, qui ne le masque donc jamais. La vapeur qui chercherait à s'introduire est immédiatement entraînée par ce conduit vers le condenseur même.

On a eu soin de disposer sur le couvercle et vers le fond du cylindre, deux soupapes de sûreté B et B' analogues à celles que l'on a déjà décrites pour le bateau l'*Ariane*. Ces soupapes sont chargées au moyen d'un ressort à boudin, qu'on peut resserrer par une vis de pression; elles garantissent contre les projections d'eau, si dangereuses en mer, et qui peuvent occasionner la rupture des cylindres. Il suffit, en effet, que, par un gros temps, l'hélice soit pour quelques instants émergée : la machine ne trouvant plus la même résistance s'emporte avant qu'on ait fermé le régulateur, et l'eau arrive en abondance des chaudières.

1154. *Traverse-tête de tige, coulisseau et bielle.* — Les traverses H H de réunion avec les tiges de piston sont en fer forgé. Elles présentent, dans leur partie centrale, le tourillon d'assemblage avec la bielle qui a 0,204 de diamètre et 0,250 de portée. Ce tourillon est raccordé de part et d'autre avec une partie carrée ayant 0,250 moyennement de côté, percée d'un trou cylindrique alésé et rodé, dans lequel s'emmanche la tige, qui est terminée par un pas de vis et maintenue au moyen d'un fort écrou G G, serré sous la face inférieure du carré. Entre ces douilles d'assemblage et les extrémités s'emboîtant dans les coulisseaux, se présentent deux embases ayant 0,15 de diamètre et une portée de 0,10, lesquelles reçoivent les têtes des petites bielles motrices C C' des balanciers des pompes à air. Les deux coulisseaux sont en fonte, et, comme les guides que l'on a décrits précédemment, sont fixés à demeure sans pouvoir être ni écartés ni approchés, on a dû combiner ces coulisseaux de manière à pouvoir les remettre en contact, lorsque l'usure des surfaces de glissement, en altérant ce contact, avec les joues des guides, nécessiterait leur remplacement. On a dû prévoir ce cas. Ces coulisseaux sont donc en trois pièces : une centrale ou moyeu, recevant les extrémités de la traverse, et deux autres assemblées, comme à tenon et mortaise avec la première, et emboîtant les guides. Quatre clavettes, terminées inférieurement par une vis et un écrou épaulé contre la pièce centrale, sont disposées entre

celle-ci et les parties mobiles, qui peuvent être resserrées et remises en contact comme les coussinets d'une bielle.

Les bielles sont en fer forgé; elles ont 178 millimètres de diamètre au centre du corps et 0,160 aux extrémités; elles présentent la forme d'un double T, étant forgées d'équerre avec deux parties transversales qui servent de base d'assemblage aux coussinets. Ceux-ci sont en bronze et reçoivent, d'une part, les boutons de manivelles ayant un diamètre de 0,228 et une longueur de 0,280. Ils sont percés de deux trous cylindriques dans lesquels s'engagent les boulons d'assemblage avec la traverse inférieure, lesquels offrent un diamètre de 0,110. Les écrous sont en partie encastrés dans le métal même de la bielle, une vis de pression taraudée dans son épaisseur et serrée sur la partie encastrée les empêchant de se relâcher. Du reste, pour la construction et la forme, ces bielles sont semblables à celles des machines oscillantes de 150 chevaux, précédemment décrites.

1155. *Distribution, excentriques, etc.* — On a adopté, pour mouvoir les tiroirs, le système à deux excentriques et la coulisse des locomotives, une poulie servant à la marche en avant, l'autre à la marche contraire. La rapidité et la facilité avec lesquelles on peut opérer ce renversement de mouvement, du moment où la résistance n'est pas trop grande, est toujours un avantage facilement appréciable, ne fût-ce que par la confiance qu'il inspire et l'aplomb qu'il donne au mécanicien.

Les poulies excentriques L L, L' L' sont en fonte, en deux pièces réunies par quatre boulons et fortement calées. Elles ont un diamètre de 0,84 et une épaisseur ou largeur de 0,105. Leurs colliers sont en fer et forgés d'une pièce avec les barres qui présentent un diamètre de 0,072. Ces colliers sont munis intérieurement d'une rainure dans laquelle est logée une bague en bronze tournée exactement aux dimensions de la poulie; elle est maintenue par des vis à tête perdue taraudées dans le collier en fer. Les deux parties de ce collier sont assemblées au moyen de brides serrées par des boulons à double écrou. Le collier présente une épaisseur maximum de 0,09 et une largeur de 0,105.

On conçoit qu'il doit avoir une grande roideur, et que la force qui lui est donnée est subordonnée à son grand diamètre. Quant à la bague en bronze, elle a nécessairement pour but de rendre l'usure des surfaces en contact aussi lente que possible.

Les barres d'excentrique ont environ 2^m,15 de longueur à partir du centre de la poulie, dimension très-favorable, quant à la réglementation du tiroir, dont les avances se dérangent dès lors très-peu, suivant les différentes positions de la coulisse. La coulisse est en fer aciéré et trempé, forgée d'une pièce, et présente moyennement une épaisseur de 56 millimètres et une largeur de 76. L'écartement des charnières d'assemblage, centre à centre, est de 605 millimètres.

1156. Le coulisseau est en acier et en deux pièces réunies par des vis; il présente un rebord emboîtant de chaque côté la coulisse; la longueur de la surface de contact est de 138 millimètres. Il est traversé par un pivot ayant 70 millimètres de diamètre, faisant saillie de chaque côté de ses joues et saisi de part et d'autre par deux bielles pendantes NN et N'N'' s'assemblant par leur partie supérieure avec la tige du tiroir. Toutes ces articulations sont fortement constituées, présentent de grandes dimensions, et, en outre, sont munies de bagues en acier, car les efforts auxquels elles sont soumises altéreraient rapidement l'état des surfaces trop peu étendues, ce qui apporterait dans la distribution des perturbations fâcheuses, quant à la régularité et quant à l'économie.

Deux pièces à pivot en fer aciéré (dites de suspension) sont rapportées de part et d'autre de la coulisse sur un appendice venu de forge, avec sa partie concave, et y sont réunies par quatre boulons traversant à la fois les trois épaisseurs; ces pièces portent chacune un pivot ayant 50 millimètres de diamètre et 46 de portée, avec lequel viennent s'articuler de part et d'autre du secteur, deux bielles horizontales assemblées d'autre part aux doubles leviers DD, D'D'. Ces derniers sont calés sur l'arbre de changement de marche C' C', dont les tourillons se meuvent entre les coussinets en bronze de deux supports C' C'', bien bou-

lonnés, par des brides de forme circulaire à deux colonnes du bâti (*Voir pl. 40, fig. 21*). A l'une des extrémités de cet arbre, et extérieurement à son support ou petit palier, se trouve calé le levier E' ou H H. Ce levier est forgé d'une pièce avec un secteur denté, engrenant avec une vis sans fin L L, aussi en fer, que l'on peut mouvoir par le croisillon à poignée S. Pour maintenir solidement ce croisillon, la vis et son arbre, et se ménager des points d'appui et de support pour les tringles et leviers de manœuvre des modérateurs, on a disposé deux colonnettes K K en fer, se boulonnant aux planchers ménagés à deux hauteurs différentes, et nécessaires à la visite et à l'entretien des différents organes de la machine. L'arbre de la vis sans fin est maintenu dans la douille centrale qui présente une traverse en fer fixée aux colonnettes, et, par son extrémité, aboutit à une petite crapaudine supportant la poussée et boulonnée au bâti.

1157. Il est évident que si aucune disposition n'était prise pour contre-balancer le poids considérable de tous ces organes, ainsi suspendus, les excentriques auraient en définitive à le supporter presque entièrement, ce qui donnerait de l'irrégularité au mouvement et rendrait l'usure plus rapide pour certaines parties. En outre, la manœuvre deviendrait beaucoup plus dure et plus pénible, puisqu'on aurait, chaque fois qu'il faudrait mettre ce mécanisme en mouvement, à relever le poids propre des deux tiroirs, de leurs tiges et étriers, des doubles bielles de suspension, etc.

On a donc mis en relation ces dernières avec un système de levier à contre-poids, équilibrant les organes dont il vient d'être parlé. Non-seulement elles sont articulées avec le secteur et la tige de la glissière, mais elles présentent intermédiairement une troisième tête. Au moyen d'un petit axe ou pivot, on les réunit deux à deux à un grand levier horizontal double, en fer forgé, présentant un moyeu de grande dimension, et pouvant articuler et tourner librement autour d'un arbre en fer supporté par des paliers, aussi en fer, boulonnés aux deux colonnes intérieures du bâti. Un des bras du levier, s'assemblant avec le pivot des têtes

intermédiaires des bielles de suspension, reçoit et supporte tout le poids de l'appareil de distribution. L'autre bras, auquel on a donné autant de longueur que possible, reçoit un contre-poids en fonte enfilé dans une tringle pendante articulée à charnière; contre-poids équivalent, en raison du bras de levier sur lequel il agit, à ceux des tiroirs et organes de distribution dont il a été parlé.

1158. On concevra l'importance de cette disposition lorsqu'on dira que les deux tiroirs et leurs tiges, les bielles de réunion et leviers intermédiaires, pèsent à eux seuls 900 kilogrammes. Tous les supports et bielles dont il vient d'être parlé sont munis de coussinets ou buselures en bronze, et les articulations des leviers sont garnies de bagues en acier. L'arbre des leviers à contre-poids a 0,082 de diamètre. Il est cylindrique d'un bout à l'autre, et la douille des leviers est maintenue en place au moyen d'épaulements rapportés, emmanchés dans l'arbre et maintenus par des clavettes. Cette douille est garnie d'une buselure en bronze et a 23 centimètres de longueur.

Comme par la disposition donnée, les leviers à contre-poids doivent suivre le tiroir dans sa marche et oscillent autour de l'arbre, on comprend que, vu l'intensité de la pression sur le point d'appui, combinée avec l'amplitude de ce mouvement, il a fallu ici répartir encore les efforts sur une grande surface. Du reste, on répétera de nouveau qu'il faut nécessairement donner aux articulations de tous les organes composant un tel système de distribution, des dimensions très-larges, assurant une grande rigidité à l'ensemble, et donnant la certitude qu'ils travailleront dans leur plan naturel de mouvement, sans qu'il y ait tendance à se gauchir et à se déformer.

Au moyen de ces dispositions, la manœuvre des machines est rendue très-simple et le renversement rapide de la marche ne présente aucune difficulté, les mouvements de distribution des deux machines étant rendus solidaires l'un de l'autre, comme dans les locomotives. Il suffit de quelques tours du croisillon et de la vis sans fin, pour mettre le secteur denté à l'autre

extrémité de sa course et communiquer le mouvement à tout le système, et, si la position du secteur est telle que le coulisseau soit commandé par la poulie de marche en avant, pour le ramener de manière à le faire attaquer par celle de marche en arrière.

1159. En décrivant les cylindres et les chapelles, on a dit qu'ils étaient munis d'une soupape d'expansion à double siège. Le mécanisme communiquant le mouvement à cette soupape est combiné de la manière suivante : l'arbre des machines présente, entre les poulies excentriques, une longueur de 27 centimètres; on a utilisé cette partie restée libre en y disposant deux cames en acier et en deux pièces. Ces cames ont chacune 84 millimètres de largeur et sont divisées en trois parties, dont les développements respectifs sont tels, qu'ils correspondent à une période de détente commençant aux $7/10^{\text{es}}$, $5/10^{\text{es}}$ et $3/10^{\text{es}}$ de la course totale du piston.

Pour les maintenir sur l'arbre, on a disposé des colliers en fer en deux pièces, ayant 5 centimètres de largeur, qui les saisissent fortement de part et d'autre. Une grande traverse double, en fer forgé, est disposée juste au-dessus de ces cames. Chacune de ses flasques a 22 millimètres d'épaisseur, et l'espace vide existant entre elles est de 17 centimètres. A l'une de ses extrémités, elle présente un long canon percé d'un trou fileté formant écrou (*Voir pl. 41, fig. 122*). Ce canon a 50 centimètres de longueur environ; quant à l'écrou qu'il constitue, son diamètre est de 66 millimètres en dehors du filet. Par l'autre extrémité, dont la longueur est de 216 millimètres seulement, le support est aussi percé d'un trou cylindrique, mais non fileté. La distance totale, centre à centre des deux douilles, est de 1 mètre 27 centimètres, c'est-à-dire qu'elle correspond exactement à celle qui sépare d'axe en axe, les colonnes du bâti.

Ce support est emmanché dans deux tringles cylindriques maintenues dans de petits paliers bien boulonnés aux colonnes. L'une de ces tringles est filetée sur une longueur de 61 centimètres, correspondant à la partie formant écrou, dont il a été parlé pré-

cédemment, et dans laquelle elle s'engage. La seconde tringle sert seulement de guide et de support à cet appareil, qui présente intermédiairement, et à des distances égales de chaque côté de l'axe longitudinal, deux douilles dans lesquelles s'engagent deux petits arbres ou pivots maintenus par des clavettes; chacun d'eux supporte un double levier, dont l'une des branches est à charnière et reçoit un galet circulaire ou poulie en acier, ayant 166 millimètres de diamètre et 24 d'épaisseur. Les deux galets sont chacun en contact avec une de ces comes dont il a été parlé, et l'adhérence constante avec la circonférence de celle-ci est maintenue au moyen de ressorts disposés supérieurement, sur les couvercles mêmes des soupapes d'expansion, le poids propre des grandes tringles et leviers suffisant déjà à les maintenir. Quant à l'autre branche du levier, elle est réunie par la tringle verticale C aux leviers commandant les soupapes. Lorsque l'excentricité de la came arrive en contact avec le galet, elle le soulève donc brusquement, fait basculer le levier à charnière qui le supporte, et dont l'autre branche en descendant tire la grande tringle verticale articulée aux soupapes et passant entre les chapelles. L'effort n'agit donc jamais que par traction.

1160. *Condenseurs et pompes à air.* — Chaque machine a un condenseur rectangulaire qui présente :

Longueur,	mèt. 2,60
Largeur,	0,80
Hauteur,	2,65

Ils sont réunis au soubassement et ont des trous d'homme fermés de couvercles.

Les pompes à air ont 0,966 de diamètre; leurs pistons sont commandés par des balanciers portés sur quatre supports; les pompes à air sont coulées avec les bâches à eau chaude qui les surmontent. Comme dans toutes les machines de mer, les pompes sont munies d'un fourreau en bronze, et les sièges des clapets et des pistons sont en bronze, l'eau salée attaquant trop vite les pièces de fonte qui frottent. Les pistons des pompes à air sont

garnis en chanvre et ont un grand presse-étoupe autour. La tige est en fer, revêtue d'une douille de bronze; elle a 0^m,10 de diamètre; la grande surface du piston a forcé de le diviser en huit clapets.

1161. *Alimentation et pompes de cale.* — Ces deux appareils sont boulonnés aux deux côtés des pompes à air : les premiers sont à plongeur en bronze.

Diamètre,	mèt. 0,165
Épaisseur,	0,010
Course des pompes alimentaires et des pompes à air,	0,61
Les clapets et leurs sièges sont en bronze, du diamètre de	0,10

Elles ont une soupape de sûreté tenue par un ressort; leur prise d'eau se fait dans la bêche à eau chaude.

Les tiges des pompes alimentaires ont :

Diamètre,	mèt. 0,05
-----------	-----------

Et sont conduites verticalement par des guides à anneaux de bronze.

Arbres et manivelles.

Diamètre des arbres aux tourillons,	mèt. 0,370
Portée des arbres en largeur,	0,510
Les manivelles sont rapportées dessus et fortement calées; portée de calage,	0,305
Épaisseur du corps de la manivelle,	0,25

Le mouvement est transmis à l'hélice par une série d'arbres ayant de 6^m,40 à 7 mètres, et reposant sur des paliers de 0^m,46 de portée.

Diamètre des arbres,	mèt. 0,33
----------------------	-----------

Ces arbres sont réunis ensemble par de forts plateaux en fer, venus de forge et qui ont :

Diamètre,	mèt. 0,64
Épaisseur,	0,13

Ils sont assemblés bout à bout et tournés de manière que l'un présente une saillie centrale cylindrique et l'autre un creux au même endroit; les plateaux sont enfin boulonnés ensemble.

1162. *Chaudières et pompe à main.* — Il y a des chaudières à retour de flamme et à trois foyers chacune; ceux-ci ont :

Largeur,	mèt. 1,107
Longueur,	2,994

On voit sur les chaudières, des réservoirs de vapeur placés au-dessus du foyer, de

Diamètre,	mèt. 0,630
Hauteur,	0,900

La partie supérieure des chaudières est cylindrique.

Enfin, il y a une pompe à main très-bien disposée, avec réservoir d'air et servant au besoin de pompe alimentaire. Cette pompe est manœuvrée par une brimbale, comme les pompes à incendie, afin de recevoir les mains et le travail d'un grand nombre d'hommes.

Résultats donnés par les machines transatlantiques de 250 chevaux, de Seralog.

1163. Les machines transatlantiques dont nous donnons les plans et la description ont été montées sur plusieurs navires en fer, construits à Anvers dans les chantiers de la Société John Cockerill de Liège, sur les dessins de M. John Dudgeon de Rosherville, et sous la direction de M. Heidel.

Le second navire construit, a reçu à Londres le nom de *Prince-Albert*; il jauge 2,010 tonneaux et a de longueur 286 pieds anglais, soit mètres 87,017, et de creux 29 pieds ou mètres 8,84; sa double machine donne une force réelle d'au moins 400 chevaux.

Ce navire, après une traversée très-rapide d'Anvers à Gravesend, dans la Tamise, a été soumis à un examen approfondi et à des expériences dirigées par un jury composé

De M. Pastor, directeur des ateliers de la Société

John Cockerill,

De M. Heidel,

De M. Rayden,

et de plusieurs autres personnes très-expertes dans ces questions.

Le navire a parcouru, dans des conditions défavorables de courant, une distance qui mesurait un peu moins de 8 nœuds, soit 9900 mètres en 31 minutes, ce qui constate une vitesse de près de 16 nœuds à l'heure, vitesse qui n'a pas encore été atteinte par des bâtiments de cette force.

Comme les aménagements de ce navire sont très-favorables pour recevoir un grand nombre de passagers, et notamment au moins 750 soldats et 40 officiers, l'Amirauté anglaise a engagé en 1857 le *Prince-Albert* de la Compagnie d'Anvers, pour transporter les troupes dans les Indes.

Parti le 24 octobre 1857 pour les Indes orientales, il est arrivé à Bombay en 66 jours, c'est-à-dire en 54 jours réels de marche, ayant dû relâcher 12 jours sur divers points, ce qui est une traversée remarquablement rapide.

1164. Le premier navire transatlantique construit à Anvers avec des machines semblables, par M. Pastor et les ateliers de Seraing, a reçu le nom de *Léopold-Premier* et a été, en 1856, l'objet d'un rapport fait par une commission nommée par le ministre des affaires étrangères de Belgique, et dont voici les conclusions :

« A part les quelques observations que la commission a cru
» devoir faire sur la coque et les machines du steamer *Léopold-*
» *Premier*, observations qu'il est facile de réduire à néant (1)
» en apportant les modifications qu'il a été jugé nécessaire de
» proposer, la commission est heureuse de pouvoir annoncer au
» gouvernement qu'il résulte des observations faites par elle, à
» Southampton et à la mer, que le steamer *Léopold-Premier*,
» construit par la société John Cockerill à Anvers, peut être

(1) On a eu égard à ces observations dans la construction des autres navires transatlantiques faits depuis ce jour.

» regardé comme *un des plus forts navires en fer* qui existent ;
» que sa mâture, son gréement et sa voilure sont établis dans les
» meilleures conditions possibles et se manœuvrent facilement ;
» que sa machine et ses chaudières sont remarquablement exé-
» cutées et fonctionnent bien, et qu'enfin le navire se conduit à
» la mer, en mauvais temps et sous toutes les allures, aussi bien
» qu'on peut le désirer.

» Ainsi fait à Anvers, le 13 décembre 1856.

» Signé H. PETIT, S. SADOINE, J. B. HOYAUX. »

1165. *Montage des machines de mer.* — Disons un mot du montage des machines des steamers.

Après avoir déterminé très-exactement la position du centre de gravité des appareils et celle du grand axe du bâtiment pour les faire coïncider, on détermine la hauteur de l'arbre de la machine, et, d'après cette première ligne d'axe, on place à une hauteur, déterminée par celle de la machine, des carlingues ou pièces de bois qui doivent supporter tout l'appareil ; on arme ces carlingues avec de fortes pièces de fonte et de fer, que l'on a soin d'isoler des flancs du bâtiment, pour éviter que les violents coups de mer que l'on éprouve souvent, n'altèrent les pièces de la machine ou la forme du navire ; puis on place des pièces de fonte sous la machine, pour servir de fondations, et des plaques de tôle sous les chaudières, en se guidant sur la ligne d'axe et en tirant au cordeau les principales lignes verticales et horizontales, suivant l'axe du bâtiment et suivant les axes des machines. Enfin on monte la machine elle-même, montage qui diffère un peu, suivant les maîtres mécaniciens du bord, mais qui repose toujours sur les principes que nous avons exposés plus haut dans le deuxième volume, page 322, en donnant les règles qui doivent présider au montage des machines à vapeur.

Entretien et réparations des machines de mer.

1166. *Entretien des chaudières.* — Nous avons exposé dans notre premier volume (293) quels étaient les soins de nettoyage

et de surveillance à donner aux chaudières fixes, et comment on devait prévenir et enlever les incrustations; et, dans la partie relative aux chaudières des steamers (504), nous sommes entré dans de grands détails sur la question d'alimentation et de désaturation intermittente ou continue, et sur les soins à prendre pour détacher le plus possible les dépôts considérables dus à l'eau de mer, après une traversée; enfin pour nettoyer à fond les chaudières, question de la plus haute importance.

Nous avons dit aussi quelles étaient les parties des chaudières de mer qui éprouvaient les accidents les plus fréquents ou qui s'usaient le plus promptement, et les soins spéciaux qu'elles exigent, soit pendant la traversée, soit à l'arrivée au port, quand on y stationne un moment ou quand on y reste longtemps, et aussi quand on désarme le navire.

Quant aux réparations des chaudières des steamers, qu'ils naviguent sur mer ou sur des fleuves, tout ce que nous avons dit de la manière de réparer les accidents arrivés aux chaudières fixes, et sur les pièces boulonnées et mastiquées à y mettre, tome I^{er}, page 32, s'applique entièrement aux chaudières des steamers qui sont en tôle ou en cuivre, comme les premières, et qui sont ou brûlées ou fendues par les mêmes causes, de la même manière, seulement plus souvent, à cause des feux excessifs qu'on y fait, et surtout par l'effet des incrustations dues à l'eau de mer. On trouvera aussi tout ce qui est nécessaire pour réparer et changer les tubes des chaudières de mer exposé d'une manière complète dans ce second volume, page 376, où, en traitant des *machines locomotives*, nous entrons dans les plus grands détails sur les entretiens et les réparations de la partie tubulaire des locomotives.

Avec ce que nous disons dans cet ouvrage de l'entretien des chaudières fixes, de celui des chaudières de mer et de celui de la partie tubulaire des locomotives, on ne peut pas être arrêté par une question de service, d'entretien ou de réparation des chaudières de steamers.

1167. *Entretien des machines des steamers. Chambre des machines.* — L'ordonnance de 1843 sur les machines à vapeur exige,

avec raison, que la chambre des machines de navigation soit séparée de tout le reste du navire par deux cloisons en bois, assemblées avec soin et recouvertes de feuilles de tôle d'un millimètre d'épaisseur, reliées à recouvrements. La chambre doit être assez grande pour que le travail des hommes qui y sont occupés et leur circulation ne soient pas gênés. Comme pour les machines fixes, la propreté est la première condition à exiger, soit dans la chambre, soit sur les appareils; il serait impossible autrement de reconnaître le commencement d'une fracture.

1168. *Enveloppes en plastique-Pimont.* — On enveloppe avec soin les appareils dans lesquels la vapeur travaille, d'abord et surtout pour éviter le refroidissement dû à l'air extérieur, qui entraîne des pertes graves de combustible; ensuite pour que la chambre de la machine ne soit pas élevée à une température incommode et dangereuse pour le mécanicien, les chauffeurs et les aides. Aucun moyen d'enveloppe ne peut être comparé au plastique-Pimont, dont nous avons déjà parlé tome I^{er}, page 200. Ce système d'enveloppe, qui adhère parfaitement à toutes les surfaces courbes ou inclinées, ou même regardant en bas, a donné de si bons résultats sur de grands navires à vapeur en France, en Belgique et en Hollande, que l'administration de la marine vient d'en faire une commande de 20000 kilogrammes, destinés aux ateliers d'Indret.

Avec ce plastique la température de la chambre des machines, sur plusieurs grands navires, est tombée souvent de 40 à 25 degrés, condition très-importante pour la facilité du service et l'économie du combustible (1).

1169. Dans le local de la machine, ou dans un local y attenant, doivent être les chaudières, les soutes à combustible, le magasin de la graisse et de l'huile, la chambre des mécaniciens, celle des chauffeurs et des soutiers, l'atelier de réparations et le magasin aux pièces de rechange.

Les machines doivent être séparées des chaudières par une

(1) J. Pimont, plastique calorifuge, à Rouen (Seine-Inférieure).

cloison, qui leur fait une chambre séparée. Il est encore plus important que les issues pour sortir, soit de la chambre des machines, soit de celle des chaudières, soient larges et toujours libres ; il y a toujours danger d'explosion ou au moins de fuites graves de vapeur, surtout avec des chaudières planes comme celles à basse pression, employées presque partout sur les grands navires, et l'exemple du *Rolland* prouve les cruelles conséquences qui résultent d'issues trop étroites ou incommodes, en cas d'irruption de vapeur dans un local fermé et bas.

Nous répétons qu'avec les chaudières de locomotives, même timbrées à 4 ou 5 atmosphères, le danger est nul.

1170. *Service au départ.* — Quand on doit partir, le mécanicien passe une revue complète et minutieuse de la machine, pour être certain qu'aucune pièce n'est altérée ni faussée. Toutes les réparations que l'on peut prévoir doivent être faites d'avance. On doit aussi vérifier s'il n'y a rien sous la machine, ou auprès d'elle, qui puisse être entraîné par le roulis et amener des ruptures de pièces.

Nous supposons maintenant les chaudières pleines, les foyers en feu et la vapeur un peu au-dessus de sa pression de règle, condition nécessaire à une bonne mise en marche, il faut alors graisser avec soin toutes les pièces qui frottent, notamment les pistons et les tiroirs des machines de l'arbre moteur, l'arbre des roues à pale ou celui de l'hélice, et surtout les engrenages et pignons, en s'assurant que rien ne gêne leur mouvement.

On ouvre les robinets de purge dans les cylindres pour en chasser d'abord tout l'air, et l'eau s'il y en avait ; on referme les robinets de purge et on met la machine en marche, au moyen de leviers vireurs disposés à cet effet, en ayant grand soin de ne lui donner d'abord qu'une petite vitesse, afin de s'assurer que tout y fonctionne bien, et pour que la résistance trop grande du navire, avec une machine lancée imprudemment à toute vitesse, n'amène pas des ruptures de pièces.

1771. Tant que l'on est dans les passes ou près des navires, le mécanicien de quart reste près de ses appareils de mise en train, où

se trouve réuni tout ce qui sert à régler la marche de la machine, à la faire stopper ou marcher en arrière, suivant les ordres qui lui sont donnés par l'officier de quart ou par le capitaine ou son second. Dès que la machine et le navire sont en marche, le mécanicien tâte si toutes les clavettes sont serrées à point, et rectifie celles qui le sont trop ou trop peu, pour éviter les secousses ou le chauffage, et l'usure des coussinets. Mieux valent cependant de petits choes, que trop de serrage.

Une clavette doit être serrée pendant qu'elle ne force pas; pour que son plan incliné ne résiste pas au marteau, il est bon d'avoir des écrous au bout des clavettes. A Indret, on emploie des ressorts pour que les écrous ne se desserrent pas.

Après quelque temps de marche, il est bon de graisser encore les pistons et les tiroirs pour bien lubréfier les garnitures.

1172. *Ordres transmis au mécanicien.* — Les ordres si importants donnés par l'officier de quart au mécanicien, sont envoyés directement à celui-ci à l'aide d'un porte-voix fixe, qui répond dans la chambre de la machine; et, dans les circonstances graves, ces ordres sont envoyés en outre par un homme placé au panneau de la chambre de la machine; et, pour éviter toute erreur, ils doivent être répétés aussi à haute voix, par le mécanicien.

Chaque fois qu'un ordre est donné au mécanicien, il doit être précédé de celui de MACHINE ATTENTION !

Ces ordres sont peu nombreux, et simples; les voici :

MACHINE ATTENTION !
PAREZ A MANŒUVRER !
MACHINE EN AVANT !
MACHINE STOPP !
MACHINE EN ARRIÈRE !
DOUCEMENT !
TRÈS-DOUCEMENT !
LE PLUS DOUCEMENT POSSIBLE !
COMME CELA !
ALLUMEZ LES FEUX !

POUSSEZ LES FEUX !

LES FEUX AU FOND DES FOURNEAUX !

BAS LES FEUX !

Quoique la surveillance continue et directe des machines appartienne exclusivement au mécanicien, cependant l'officier de quart doit s'assurer lui-même de la stricte exécution de ses ordres et veiller aux précautions à prendre. Il est donc indispensable qu'il connaisse ce qui a été ordonné précédemment, et ce qu'il faut faire pendant son service.

En prenant le service et en recevant les ordres transmis précédemment pour l'allure et le chauffage des machines, le mécanicien s'informe des faits survenus pendant le quart précédent, qui semblent de nature à l'intéresser, surtout des accidents survenus ou du chauffage des pièces, des clavettes desserrées, de l'état des feux, de l'heure à laquelle on a décrassé, de la saturation des chaudières, etc.

Ces indications sont ordinairement inscrites sur un tableau.

Aussitôt après, le mécanicien fait une ronde et une visite complète de toutes les parties des appareils.

1179. *Approvisionnements et rechanges.* — Nous donnons ici le tableau des approvisionnements en matières de première nécessité et celui des pièces de rechange, que nous prenons dans le *Traité élémentaire des machines à vapeur marines*, par M. Ortolan, premier maître mécanicien de la marine impériale, ouvrage très-utile, très-bien compris, et où la théorie se réunit partout à une grande pratique (page 255).

4180. Approvisionnements en matières de première nécessité.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	QUANTITÉ.	OBSERVATIONS.
Charbon en roches pour chaudières.	De 4 à 5 kilogrammes.	Pour chaque heure de marche présumée et par force de cheval-vapeur; soit de 96 à 120 kilogrammes pour un cheval-vapeur pendant 24 heures.
Huile pour graissage et lubrifiage des mouvements.	De 800 grammes à à 1 kil. 200 grammes par tonneau de charbon embarqué (1000 kilogrammes).	La quantité est ordinairement fixée après les essais des machines et les premières traversées, à la vapeur.
Suif.	Idem.	Idem.
Huile à brûler.	D'après le système et le nombre de lampes.	L'huile pour lubrifiage peut, à la rigueur, remplacer l'huile à brûler.
Coton ou laine filée.	D'après le nombre des godets graisseurs.	Les mèches en coton ou en laine passées dans les godets, laissent tomber l'huile goutte à goutte dans les mouvements; elles ont une importance réelle.
Torons et chanvre.	D'après les dimensions et le nombre des garnitures et des presse-étoupe.	L'usure des garnitures en torons et celle des boîtes à étoupe est assez prompte pour nécessiter un certain approvisionnement de ces matières.
Étoupes ou chiffons.	D'après la quantité et l'étendue des surfaces en fer poli.	Idem.

4484. **Approvisionnements en matières
pour réparations.**

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	EMPLOI.
Fer assorti et fer d'angle.	Réparation des machines, chau- dières et soutes.
Tôle.	
Rivets.	Réparation de l'ouillage.
Acier.	Réparation du tuyautage.
Cuivre rouge en planches.	Réparation du boulonnage des tuyaux.
Cuivre rouge en barres.	
Cuivre jaune en planches.	Confection de cales pour coussinets usés. — Godets graisseurs.
Cuivre jaune en barres.	Réparation des tiges des soupapes.
Plomb laminé.	Réparation des joints des tuyaux et autres.
Étain.	Réparation des lampes, burettes, etc.
Limaille de fer.	Réparation des joints au mastic de fer.
Fleur de soufre.	Réparation des joints au mastic de fer et lubrifiage des pièces échauf- fées.
Sel ammoniac.	Réparation des joints au mastic de fer.
Mastic Serbat (1).	Réparation des joints divers.
Blanc de céruse ou blanc de zinc.	
Minium en poudre.	Remplaçant le mastic Serbat.
Huile de lin.	
Mercure.	Recharge des indicateurs de pres- sion, manomètres, etc.
Soudure de cuivre.	Réparation du tuyautage.
Borax.	
Émeri en poudre.	Réparation des soupapes et robi- nets.
Plombagine.	Lubrifiage des pièces échauffées.

1182. *Premier tableau.* — Les approvisionnements en matières premières dépendent évidemment de la puissance du navire et du temps présumé de la campagne ; enfin, des ressources que présentent les lieux où il se rend.

(1) Voir tome II, page 256, la composition et l'emploi des divers mastics.

1183. *Deuxième tableau.* — Les petits navires qui font un service journalier, peuvent se dispenser des grosses pièces de rechange; mais quand on part pour une campagne *ordinaire* de six mois à un an, ou pour une campagne *extraordinaire* de plus d'un an, on doit prendre tout ce qui est alloué par les règlements de la marine impériale, suivant la force des navires.

1184. *Réparations en marche.* — L'échauffement et l'usure des coussinets sont un des dérangements le plus à éviter, parce que la chambre de la machine étant très-chaude, la machine très-rapprochée des chaudières, les huiles de graissage se sèchent vite; cet accident arrive souvent si on n'y donne pas beaucoup de soin.

On juge de la surveillance et des soins d'un mécanicien par l'état d'entretien de ses coussinets et de ses chaudières. Quand on arrête la machine, il faut la mettre dans la position la plus convenable à la réparation des pièces que l'on peut avoir à travailler et la plus favorable pour qu'elle reparte, par l'action de la vapeur sur le piston, comme nous l'avons dit (1022).

Ce n'est que très-lentement qu'on laisse tomber les feux, et successivement, pour ne pas arrêter trop vite la machine.

Enfin tout ce que nous avons dit dans la quatrième partie du *Guide du chauffeur* (tome II, page 291) sur la conduite, la surveillance et les soins journaliers dus aux machines fixes, et presque tout ce que nous avons dit dans la troisième partie (tome II, page 130) sur les accidents principaux qui arrivent à ces machines, s'applique parfaitement aussi au service des machines de navigation.

1185. *Avaries survenues dans des organes des machines; moyens employés pour les réparer avec les ressources du bord.* — Nous donnons ici d'autant plus volontiers, les paragraphes relatifs à ces réparations techniques, prises dans l'utile ouvrage de M. Ortolan, que le *Guide du chauffeur* est le premier ouvrage qui, en 1830, ait donné l'exemple d'un livre où l'on trouvait en même temps, à côté des principes scientifiques sur les fourneaux et les machines à vapeur, des conseils pratiques complets sur leur construction et

les détails techniques nécessaires à l'entretien et aux réparations qu'exige chacune des pièces d'une machine.

La manière dont le *Guide du chauffeur* a été reçu dans les ateliers, où il a porté le premier, les vrais principes d'établissement de fourneaux et ceux des machines à vapeur, les premiers posés par d'Arcet, les seconds par le général Poncelet, trois éditions épuisées, et l'accueil fait au premier volume de la quatrième, prouvent, nous l'espérons, que nous avons approché du but; et quoique quelquefois oublié par ceux qui nous ont suivi dans la carrière, nous resterons toujours fidèle à notre principe d'être équitables avec tout le monde et de rendre pleine justice aux livres vraiment utiles.

M. Ortolan divise les accidents qui peuvent survenir à bord, en trois catégories.

1° Avaries qui ne portent que sur des pièces de détail, et des dérangements dans le mécanisme, que l'on peut réparer complètement sans le secours des ateliers :

Coussinets ou tourillons grippés ;

Tiges faussées ;

Clapets des pompes ou du condenseur brisés ou déchirés ;

Tuyaux crevés ;

Fuites dans les coutures et les tôles des chaudières ;

Tubes des chaudières fondus ou brûlés ;

Rayons de roue faussés ;

Soupapes de sûreté faussées, etc.

2° Avaries qui mettent momentanément hors de service les pièces que l'on peut remplacer immédiatement par une pièce de rechange, s'il y en a à bord ; et, dans le cas contraire, qu'il faut suppléer par une installation provisoire :

Rupture partielle ou complète dans les pistons ;

Id. dans les balanciers ;

Id. dans les bielles ;

Id. dans les tiges de piston ;

Id. dans les colliers d'excentrique ;

Id. dans les tiroirs ;

Rupture partielle où complète dans les coussinets.

3° Avaries sans probabilité de réussite, en entreprenant les réparations à bord :

Rupture complète des arbres de couche ;

Id. des manivelles ;

Id. des tourillons du balancier ;

Id. des soies des manivelles ;

Id. des cylindres à vapeur ;

Déchirement, sur une grande étendue, des tôles des chaudières ;

Affaissement des fourneaux, etc.

1186. Avec du fer et de la tôle de dimensions convenables, avec la forge de campagne et l'outillage qui se trouve à bord des bâtiments de guerre, et avec des hommes d'une adresse ordinaire comme ouvriers, M. Ortolan dit, avec raison, que le mécanicien du bord peut réparer les avaries des deux premières catégories.

En construisant à terre un ventilateur et une forge ou un fourneau assez puissants, on peut tenter avec succès les réparations de la troisième catégorie, comme il l'a fait pour l'arbre à vilebrequins de 40 chevaux de l'avis *le Grand-Duc* ; vilebrequins rompus à la partie qui porte la manivelle ; les difficiles réparations de la frégate *l'Eldorado*, exposées dans le *Catéchisme du mécanicien* du capitaine Paris, ont été faites avec plein succès, avec le personnel et les ressources insuffisantes du bord.

1187. *Marche à suivre en cas d'accident.* — Lorsqu'un accident se produit dans une des machines, il faut :

1° Stopper, si la machine marche encore ;

2° Si l'avarie est dans la chaudière, jeter bas les feux ;

3° Renvoyer les personnes inutiles de la chambre ; faire emporter les blessés ;

4° Donner les ordres nécessaires, si l'autorité vous appartient ;

5° Les machines étant ordinairement accouplées, on arrête seulement celle qui est avariée : en démontant l'articulation qui relie la grande bielle ou la tige du piston aux manivelles, et démontant les excentriques qui commandent les tiroirs : avec le

régulateur de vapeur fermé, le tiroir au milieu de sa course, la machine ne peut pas marcher; on laisse par précaution ouverts les robinets de purge et les soupapes du cylindre; on continue alors sa route avec une des machines, mais lentement, jusqu'au point d'arrivée, ou jusqu'à ce que la réparation soit faite, pour ne pas tordre l'arbre moteur.

1188. *Réparations des coussinets.* — Nous avons dit, tome II, page 270, quels étaient les moyens de réparation des coussinets et des grains; rien à y ajouter.

1189. *Tige de piston et grande bielle forcées.* — Une tige de piston, cintrée de 8 centimètres par une chute de piston, causée par la rupture du balancier, fut redressée en la chauffant deux fois au rouge-cerise, sur 0,50 de longueur, dans un fourneau construit à terre, avec un soufflet de forge, en la soulevant par un de ses bouts et la laissant retomber de 0,50 de hauteur sur deux forts billots en chêne, sur lesquels portaient les extrémités de la courbure.

Le même moyen a été employé pour redresser la grande bielle et la tige de piston d'une machine de 120 chevaux; d'autres pièces cintrées ont été redressées en laissant tomber sur les pièces, après chauffage et préservées par du cuivre, une masse composée de l'enclume du bord et des gueuses, ou à l'aide de crics agissant sur la partie cintrée.

1190. *Paliers et chapeaux de paliers cassés.* — Une frette mise au rouge a suffi pour rendre la solidité au *chapeau d'un palier d'arbre de couche*, cassé dans la machine de 220 chevaux du *Phoque*. Une forte bande de fer boulonnée sur le chapeau du palier cassé, et une pièce à queue entaillée dans l'extérieur du palier et battue jusqu'à entier refroidissement, ont donné aussi une excellente réparation. Ces moyens réussissent très-bien pour les paliers rompus.

1191. *Clapets des pompes à air et des condenseurs brisés.* — Quand le clapet de la pompe à air est à simple effet, la rupture du clapet n'arrête pas forcément la machine, qui est un peu ralentie par l'eau de la bache qui retombe sur le piston.

Quand la pompe à air est à double effet, le piston devant aspirer et refouler alternativement l'eau d'un côté et de l'autre, les clapets ne fermant plus le passage et la bâche, le piston ne fait plus le vide, les condenseurs s'engorgent d'eau et la machine s'arrête; il y a urgence à réparer ces accidents.

A bord du *Voyageur*, un clapet de bronze étant brisé, on a fait un clapet provisoire avec des bandes de toile à voile cousues ensemble et rivées sur une tôle de 8 millimètres, avec deux bonnes charnières; la toile fermait hermétiquement en portant sur le siège des clapets. Le fer aurait été mangé trop vite, par l'action galvanique du cuivre et du fer plongés dans l'eau de mer.

1192. *Tuyaux crevés*. — Les tuyaux crevés se réparent avec une pièce de feutre ou de laine enduite fortement de minium, et serrée par-dessus avec de la toile à voile pénétrée de céruse et liée avec de la corde fine.

Quand les tuyaux fendus sont dans le passage des hommes, on y ajoute un manchon en tôle ou en bois.

1193. *Avaries des robinets d'injection et de prise d'eau*. — Ces avaries, très-dangereuses et très-rares, sont dues à une mauvaise installation ou à un défaut de surveillance du tuyautage.

Le tournant du robinet d'extraction d'une machine de 80 chevaux ayant brisé les deux prisonniers qui le retiennent dans le boisseau, l'extraction était ouverte et l'eau bouillante s'élançait au loin. Plusieurs fauberts chargés d'eau, sont jetés sur le robinet et arrêtent assez l'écoulement pour mettre les feux bas et éviter de brûler la chaudière.

Le même accident au robinet de prise d'eau de mer est aussi dangereux, à cause de la différence de niveau qui chasse fortement l'eau en dedans du navire. Le bout d'un mât d'embarcation, garni de doubles couvertures de hamac et chargé de guenes de fonte, a arrêté un accident de ce genre.

Un tuyau de trop-plein, cassé à la collerette qui l'assemblait avec la muraille du navire, lançait de l'eau par le jeu de la pompe à air: une toile cousue de suite autour du tuyau fut ensuite clouée contre la muraille et serrée avec de la corde sur le tuyau.

1194. *Réparation d'un piston.* — Le piston à vapeur de la frégate de 450 chevaux *l'Albatros* fut fendu seulement, en choquant contre le tampon de fermeture du cylindre, qui s'était détaché.

Une couronne en tôle fixée autour du corps du piston par des vis taraudées, lui rendit la solidité, et le tampon fut remplacé par une porte à étriers, comme celle des chaudières.

1195. *Réparations des balanciers.* — Le balancier d'une machine de 80 chevaux, rompu près de son axe de rotation, avait deux flasques, et on ne pouvait pas y mettre de frettes. Il a été réparé à l'aide de deux fortes tôles percées d'un grand nombre de trous, et boulonnées à travers les deux flasques; et, pour resserrer parfaitement la fonte, on a donné du tirage aux premiers boulons posés, en excentrant un peu les trous de la fonte.

Le balancier de 450 chevaux de la frégate *le Canada*, cassé aussi près du moyeu, fut réparé d'une manière définitive :

1° En ajustant par-dessus les nervures du haut et du bas deux fortes embases de fonte, mastiquées en fonte sur le balancier; 2° en posant au rouge deux frettes en fer, sur la collerette du trou du moyeu, ce qui fit disparaître la fente; 3° par surcroît de précaution, deux forts tirants en fer, plats, munis à chaque bout d'un emmanchement à bride et à boulon, furent ajustés dessus et dessous le balancier, et pris avec les chapes extrêmes du balancier.

1196. *Réparation d'un tiroir.* — Un tiroir du *Castor* (120 chevaux), cassé de côté, fut très-bien réparé, à l'aide de deux plaques courbes en cuivre jaune, mises intérieurement et fixées par des rivets.

1197. *Réparation d'un vilebrequin ou arbre à trois manivelles.* — Le vilebrequin du *Tanger*, de 320 chevaux, était fendu à 18 millimètres de profondeur, à l'un des coudes faisant manivelle.

Pour arrêter la fente, qui aurait compromis par la suite le travail de l'arbre, une frette en deux parties mise au rouge et assemblée par des boulons, et de 4 centimètres d'épaisseur, embrassa toute la longueur et l'épaisseur de la manivelle avariée, en serrant les boulons qu'à mesure du refroidissement. Deux pièces

à queue avaient été d'abord ajustées et enfoncées dans les parois de la manivelle, qui travaille encore aujourd'hui. Une manivelle fendue fut aussi réparée avec une frette mise à chaud, et d'une section égale à la section du métal ouvert.

1198. *Remplacement d'un presse-étoupe brisé.* — Nous avons donné (*pl. 17, fig. 49*) le tracé d'une mâchoire double, à vis, qui sert à soutenir un piston et sa tige pour qu'ils ne tombent pas au fond du cylindre, quand on démonte leur tête. M. Chante, mécanicien du *Caméléon*, s'est servi d'outils semblables en fer, pour remplacer un presse-étoupe de cylindre brisé, en y ajoutant deux oreilles, au moyen de deux prisonniers, et en enlevant du métal sur la hauteur, pour qu'il entre dans la boîte à étoupe, comme un presse-étoupe. Un *presse-étoupe* provisoire est toujours bientôt fait à bord, où il faut surtout éviter que la vapeur ne s'échappe ou que l'air ne rentre par une boîte brisée.

1199. *Remplacement d'un chariot d'excentrique.* — On a remplacé le chariot d'excentrique brisé à bord de l'*Èbre*, par un autre, fait avec quatre tôles d'un centimètre d'épaisseur rivées à tête fraisée, d'abord deux ensemble pour faire le corps du chariot, et les deux autres pour faire les collerettes extérieures.

1200. *Réparation d'une bielle latérale du grand T.* — M. Paris, dans son *Catéchisme du mécanicien*, parle de cette pièce réparée à bord du *Castor*, en réunissant les deux bouts par un boulon et une bride, et en reliant en même temps la traverse de la grande bielle, avec le palier d'articulation.

1201. *Bris du butoir de l'arbre moteur ou du taquet d'excentrique.* — Le bris de l'une de ces pièces arrête ou ralentit la machine; il faut avoir pour cela des moyens de réparation provisoire. Sur le *Laborieux*, la rupture du butoir fut réparée en calant invariablement le chariot d'excentrique sur l'arbre avec de petits coins en acier enfoncés à coups de marteau. La machine alors ne peut plus marcher en arrière, qu'en faisant, quand il le faut, fonctionner le tiroir à la main.

1202. *Rupture d'un couvercle de cylindre ou d'un cylindre.* — Cette rupture se répare au moyen de frettes circulaires ou de tôles

et de bandes de fer boulonnées sur la partie brisée, ou de cornières mises en croisillon. Ces ruptures ne sont pas rares, soit par le choc d'un piston détaché, soit par des projections d'eau. Dans un cas de rupture d'un fond de cylindre, on ajusta en dehors, une bâche en planches de chêne de 4 centimètres, qui fut écoinçée et solidement fixée contre les morceaux qui tenaient encore; les coins et épontilles faisaient tête sur deux fortes traverses encastrées dans les carlingues, sous la plaque de fondation.

En cas d'impossibilité de réparation, on peut, si la machine est verticale, marcher avec la vapeur d'un côté du piston et l'air de l'autre, c'est-à-dire avec une machine à *simple effet*: pour cela on ferme, au moyen d'un tampon en bois solidement enfoncé et maintenu sur place, l'orifice de la lumière qui amènerait la vapeur du côté brisé; celle-ci n'agit donc que d'un côté du piston et la pression atmosphérique agit de l'autre, en même temps que le vide du condenseur. Cette manœuvre a été employée avec succès à bord du navire anglais *l'Abeille*.

1203. *Avaries dans les pompes à air, transformation d'une machine à basse pression en machine à haute pression, sans condensation.* — Quand le tuyau de prise d'eau est obstrué, nous avons vu qu'on peut marcher sans condenser, en évacuant la vapeur par le tuyau de décharge. Pour faire cette réparation sur le paquebot *l'Égyptien*, après une rupture du té de la pompe à air, le piston de celle-ci fut enlevé, les clapets bien assujettis et tout grands ouverts; la vapeur sortait du cylindre à travers le condenseur et le tuyau de décharge ne plongeait pas dans la mer: d'ailleurs il est toujours facile à bord, de conduire la vapeur au dehors. Ce système peut être employé avec des machines qui fonctionnent entre 1 1/2 et 2 atmosphères. Au-dessous, la résistance de l'atmosphère serait trop grande et la machine ne marcherait pas.

1204. *Condenseur défoncé.* — M. Paris dit que pour un condenseur défoncé ou fêlé, on a enfermé la partie brisée dans une auge étanche en bois ou en tôle placée entre les carlingues et où arrivait un jet continu d'eau, venant du robinet d'extinction des

feux. Cette eau aspirée par le vide du condenseur, est un supplément à l'injection qui doit être diminuée de l'autre côté.

1205. *Avaries des propulseurs.* — Les bras des roues à aubes se frettent, quand ils sont cassés ou fendus. On relie les rayons cassés avec des bandes de fer ou des plateaux de tôle boulonnés ; les rayons faussés sont redressés à la forge ; il faut les réparer de suite quand leur cassure porte sur le bord du steamer, qu'ils perceraient bien vite ; ce qui serait surtout dangereux, avec les navires en tôle, qui n'ont que quelques centimètres d'épaisseur.

On a remplacé avec avantage des aubes brisées par un gros temps, et dont on n'avait plus de rechange, par des bouts de bordage refendus, et le navire n'a que peu perdu de sa vitesse.

1206. *Réparation des hélices.* — Il est certain que le nombre de branches de l'hélice influe peu sur la vitesse du navire.

Sur le *Jourdain*, une des branches d'une hélice à deux branches fut rompue et le navire a fait une longue traversée avec une vitesse qui n'était pas réduite de moitié. Des chocs dangereux pour les machines résultaient seulement de cet état de choses.

On a remis une aile brisée à une hélice au moyen de tôles rivées ensemble et des moyens du bord ; mais cette réparation ne peut pas avoir de durée.

LÉGISLATION

DES MACHINES A VAPEUR.

QUESTIONS DE LÉGISLATION.

1207. Quelque intérêt que puisse présenter le développement du principe de la législation des machines à vapeur, et des commentaires sur l'ordonnance du 22 mai 1844 qui l'a réglée à nouveau, ce travail ne peut trouver place dans notre ouvrage.

Nous n'en dirons que peu de chose.

Aujourd'hui, nous partons d'un principe tout contraire à celui de la liberté individuelle absolue du manufacturier par rapport aux machines à vapeur, ce principe, nous en sommes profondément pénétrés ; nous l'avons adopté avec toute sa portée et ses conséquences ; ce principe, c'est le droit, la puissance et la nécessité d'action de tous, sur chacun.

Le droit, pour nous, n'est pas contestable, la société doit veiller toujours elle-même à la sûreté de tous ses membres, surtout de ceux qui, comme les ouvriers, ne peuvent pas se défendre eux-mêmes. Le soin de cette défense, la société ne peut l'abandonner à personne.

Quant à l'intérêt, il est évident : si le manufacturier qui emploie un générateur mal construit, détérioré, ou qui garde un chauffeur sujet à s'enivrer ou peu soigneux, et laisse ainsi le générateur faire explosion, était seul exposé à cet accident, l'intérêt de la société ne pourrait même pas être contesté. Ici, au contraire, celui qui est, la plupart du temps, seul coupable, ne se

trouve jamais là, pour souffrir de l'événement; ce sont des ouvriers, étrangers au fait dont le propriétaire est la seule cause, qui sont frappés.

Si les mesures à prendre pour avoir des générateurs en bon état et où les chances d'explosion soient les moindres possible, n'étaient pas étudiées et formulées par l'administration comme une loi, d'après l'expérience acquise à ce jour, il est évident que bien des causes viendraient empêcher leur emploi, et répandre sur les machines à vapeur de mauvaises et fausses opinions. L'ignorance de ce qui est le mieux, l'intérêt mal entendu qui sacrifie le bon à une dangereuse économie, la précipitation des travaux industriels, qui fait ajourner une réparation indispensable, par la crainte d'arrêter un atelier, enfin l'esprit d'invention qui tâtonne, même dans une bonne voie, et aveugle celui qui est engagé dans la mauvaise, il y a là de nombreuses causes d'imprudence et de danger pour les ouvriers, les machines, les ateliers et les voisins.

1208. *Excellent esprit de la nouvelle ordonnance.* — L'esprit de la législation nouvelle est l'intervention des lumières théoriques de la science la plus haute, de l'expérience des ateliers, dans les milliers d'établissements qui emploient des appareils à vapeur de petite ou de grande puissance; et la main de l'administration centrale est aujourd'hui partout présente et active, par ses ingénieurs des mines et des ponts et chaussées, chargés de l'exécution de l'ordonnance relative aux machines à vapeur.

Dans nos premières éditions, nous avons fait de graves et justes reproches à l'ancienne ordonnance, reproches d'erreurs, de fausses directions, etc.; tous ces défauts ont disparu de la nouvelle ordonnance : nous osons nous flatter d'y avoir été pour quelque chose.

Les mesures aujourd'hui prescrites nous paraissent aussi simples que rationnelles, elles sont pratiques et complètes; et doivent donner une entière confiance aux industriels, par la manière dont elles ont été préparées. L'administration s'est entourée, pour ce travail, des conseils les plus éclairés et les plus divers.

La Société d'encouragement a d'abord et depuis bien longtemps ouvert un concours, avec de grandes récompenses, pour les moyens de sûreté des machines à vapeur; concours fécond en inventions ingénieuses, et qui, s'il a laissé peu de nouvelles choses dans la pratique, a montré dans quelle voie il fallait entrer, pour les mesures à prescrire.

L'opinion et les résultats de l'expérience de tous les ingénieurs de l'administration ont été recueillis et utilisés. Une commission dans laquelle se trouvent les noms les plus illustres de l'Académie des sciences, et présidée par M. Combes, a travaillé longtemps pour faire de nombreuses expériences sur les moyens à adopter et pour rédiger les nouvelles ordonnances. Tout ce travail a été, comme législation, soumis au conseil d'État.

Il en est sorti une ordonnance et des instructions, remarquables par la manière dont elles permettent le travail et le progrès, en se réservant la surveillance.

Sous le rapport de la solidité des générateurs, des épaisseurs suffisantes pour la pression maximum à éprouver, avec un large excès, constant pour tous; des formes qui en assurent la solidité, et contrôlées aussi par les ingénieurs.

La réduction de la pression d'essai précédemment trop élevée, et par cela même dangereuse pour la conservation de la qualité du métal et l'emploi du manomètre Bourdon pour l'essai des chaudières; comme emplacement, la possibilité d'employer les générateurs partout où ils sont nécessaires, en raison de leurs dimensions et de leur puissance, et les ateliers ouverts ainsi aux petites machines qui leur sont si nécessaires, comme les forges, aux générateurs qui en utilisent la chaleur perdue.

Le droit, encore, aux ingénieurs de l'administration d'autoriser des exceptions nécessaires, au moyen des précautions particulières; comme mesure de sûreté, les soupapes de larges dimensions, à mince portée, rigoureusement réglées en poids; des flotteurs et des sifflets d'alarme, le manomètre à air libre, et, depuis sa découverte, le beau manomètre métallique de M. Bourdon, les seuls véritables et sûrs procédés à employer au-

jourd'hui. Tous les appareils livrés sans grille, à la main libre et directe du chauffeur, le véritable principe de conduite d'une chaudière, comme nous l'avions déjà réclamé depuis longtemps.

Enfin, d'excellentes instructions sur la construction, la conduite et l'entretien de ces appareils : telles sont les bases d'une législation qui a ce mérite particulier, qu'elle ne fait en rien sortir les constructeurs et les manufacturiers, des habitudes des ateliers.

1209. Nous avons donné dans l'appendice de notre premier volume, cette législation complète, en ce qui concerne les machines à vapeur de terre et celle relative aux bateaux à vapeur, avec le tableau des épaisseurs des chaudières, et des diamètres des soupapes de sûreté. Il sera toujours facile d'y recourir pour toutes les questions qui se présenteront.

On y trouvera aussi la marche à suivre pour demander l'autorisation d'établir une machine à vapeur ou un générateur. Nous avons déjà, en parlant des explosions, tracé les devoirs des manufacturiers quand arrive un malheur de ce genre (522) : car, quelques précautions qui soient prises, il est impossible de les éviter complètement; elles deviennent seulement beaucoup plus rares et moins funestes.

Nous sommes entrés dans des détails sur les causes de ces désastreux événements, sur la construction et l'entretien des divers appareils de sûreté employés pour les chaudières, sur la conduite du feu, la surveillance des machines, etc., et nous sommes convaincu que l'instruction des manufacturiers sera complète sous ce rapport avec le *Guide du chauffeur*. Ils savent tous quelle responsabilité pèserait sur eux, si une explosion et la mort d'un ou de plusieurs hommes, arrivaient, avec un générateur qui ne satisferait pas à toutes les conditions imposées par l'ordonnance, conditions si faciles à remplir.

1210. *Des ingénieurs de l'administration.* — Quant aux ingénieurs des mines et des ponts et chaussées, chargés de l'exécution d'une ordonnance dont la pensée est de prévenir tout malheur, mais sans gêner le travail des ateliers, ayant mission et pouvoir

de modifier, dans de certains cas de nécessité particulière, les conditions imposées, ce n'est pas la lettre nécessairement stationnaire de l'ordonnance qu'ils ont à suivre, mais son esprit progressif. Leur mission est de faire exécuter la loi imposée, mais de l'éclairer de leurs lumières ; de donner des conseils bienveillants et leur concours à l'industrie, toutes les fois qu'ils ne sont pas en opposition avec les intérêts de la société.

Une mission bien importante aussi pour les progrès à venir des machines à vapeur, est confiée aux mêmes mains : c'est la statistique annuelle des machines et chaudières à vapeur dans toute la France, avec leurs consommations et les détails les plus complets qu'il soit *possible de se procurer*. Ce tableau ainsi dressé sur un modèle commun, si les manufacturiers qui y ont intérêt en facilitent le complément, par des renseignements exacts et sans arrière-pensée, deviendra le point de départ des améliorations et des économies les plus importantes.

Le manufacturier qui possède une machine à vapeur dont il n'a pas de sujet de plainte sérieuse est, en général, assez disposé à croire qu'elle vaut mieux, dépense moins, et produit plus que toutes les autres ; rarement il en est ainsi. Les résultats comparatifs recueillis et publiés par l'administration, entre les diverses machines, serviront à éclairer bien des défauts et à en amener la correction. Nous verrons naître en France cette émulation de perfectionnements comparatifs, qui a porté si loin la puissance des machines du Cornouailles, sous l'influence des rapports généraux publiés chaque année par leurs ingénieurs.

FIN DU DEUXIÈME VOLUME.

APPENDICE.

NOTE N° 1.

Foyer fumivore de M. F. Guillemet.

Nous avons soumis à des expériences méthodiques un nouveau foyer fumivore, celui de M. Félix Guillemet, filateur à Nantes (Loire-Inférieure), et qui est monté à l'Imprimerie impériale de Paris. Nous en donnons les plans et coupes (*pl.* 28, *fig.* 82 et 83). Voici les résultats de nos observations et les termes mêmes du rapport que nous avons rédigé en date du 27 juillet 1838 :

Le foyer fumivore de M. Guillemet fonctionno depuis deux ans dans sa filature de coton, à Nantes; deux appareils ont été montés successivement à l'Imprimerie impériale, à Paris. C'est l'un de ces derniers appareils que nous avons soumis à des expériences méthodiques.

Cet appareil est composé de barreaux de fonte transversaux, de la forme à peu près des barreaux de grilles ordinaires, et conduits parallèlement l'un à l'autre, jusqu'au fond du foyer, par deux vis en fonte, dans lesquelles les extrémités des barreaux sont engagées, vis qui sont mises en mouvement par des pignons et qui portent sur des collets fixes.

A chaque tour de la vis, les barreaux avancent vers le fond du foyer, d'une quantité égale à la longueur du pas. Dans leur mouvement, tous les barreaux glissent sur deux règles en fonte, qui maintiennent la surface des barreaux parfaitement plane. Ces règles sont plus courtes que le cendrier, et quand chaque barreau arrive successivement au bout de la règle, il tombe au-dessous du plan de la grille. Le mouvement de chute est régularisé par le jeu de deux cames, qui sont fixées au bout des deux vis parallèles supérieures.

Tous les barreaux, dans leur mouvement vers le fond du foyer, descendent ainsi successivement et tombent sur des règles pareilles aux premières, mais placées en dessous; ils sont alors pris par deux autres vis en fonte, dont le mouvement est en sens contraire des premières et qui, par conséquent, ramènent tous les barreaux parallèlement ensemble, jusque vers le devant du foyer, où deux autres comes les remontent au niveau du plan de la grille; là, ils sont repris par les deux premières vis, qui leur font recommencer le même chemin.

Ce système, simple et solide, est commandé par une corde ou une courroie marchant sur deux cônes, qui permettent de faire varier la vitesse de l'appareil. Cette commande évite des ruptures qui auraient lieu si les barreaux ou la trémie venaient à s'engorger. Une trémie en fonte, installée sur le devant du fourneau, avec une vanne en tôle réglée par un axe et un rochet, amène sur la grille des lames toujours égales de houille, qui sont réglées à volonté, suivant les besoins de service ou la nature du combustible.

Cet ensemble est le système complet des préparations à hélices des métiers à lin de M. Fairbairn, de Leeds, avec leurs quatre vis marchant deux par deux dans chaque sens et les peignes conduits parallèlement à eux-mêmes, sur des règles, au bout desquelles ils sont poussés à un plan inférieur, où deux vis, marchant en sens contraire des premières, les ramènent jusqu'à la partie antérieure du métier, pour être remontés par des comes et recommencer la même route.

Rien de plus simple et de plus solide que ce système de marche des barreaux mobiles, et nous ne connaissons pas de dispositions de grille mécanique, qui soit dans des conditions de bon travail et de simplicité égales à celle-ci.

Comme le bas de la trémie de la grille Guillemet s'engorgeait quelquefois et exigeait un peu de surveillance de la part du chauffeur, M. Perrin, mécanicien en chef de l'Imprimerie, y a ajouté une lame horizontale en tôle, qui, dans un mouvement très-lent de va-et-vient, fait sortir régulièrement la houille de la trémie et assure ainsi au combustible une épaisseur et une régularité remarquables de marche, qui ne laisse plus au chauffeur d'autre travail que de charger la trémie et d'ouvrir ou de fermer, suivant les besoins, la vanne de règlement.

Cet appareil, presque entièrement en fonte, n'a éprouvé aucun accident depuis deux ans qu'il marche chez M. Guillemet, comme l'a constaté M. Lorieux, ingénieur des mines, chargé du service des machines à vapeur dans la Loire-Inférieure; les vis se sont seulement polies. A l'Imprimerie impériale, où il travaille depuis dix mois, il n'y a pas une rupture, ni un dérangement au premier appareil, qui

cependant a fonctionné sans autre interruption qu'une substitution de chaudières neuves, aux chaudières anciennes.

Le premier appareil monté fonctionne là sur une chaudière à bouilleurs de 5 mètres de longueur et de 28 mètres carrés de chauffe, qui, avec deux autres chaudières pareilles, conduisent deux belles machines de 25 chevaux chacune, à deux cylindres, sorties des ateliers de MM. Gilmer et C^{ie}, de Paris.

Pour reconnaître la puissance proportionnelle de vaporisation du système, nous avons fait marcher pendant deux jours entiers l'une des machines, avec une chaudière et le foyer Guillemet, en pesant avec le plus grand soin la houille employée, après avoir entièrement vidé la trémie au commencement de chaque expérience, et en tenant note exacte des pressions et des niveaux de l'eau, ce qui est facile au moyen du niveau à flotteur de M. Herdevin.

L'eau employée à l'alimentation était de l'eau du canal de la Villette, dont la température a été trouvée, à plusieurs reprises, de 23°, avec un thermomètre d'expérience.

Les chaudières sont ordinairement alimentées par l'eau qui se condense dans les appareils à vapeur de l'Imprimerie; mais, pour pouvoir jauger exactement l'eau d'alimentation, il a fallu interrompre le tuyau d'alimentation et prendre de l'eau du canal. Nous avons, du reste, comme on le verra, calculé et ajouté au produit observé, en vapeur, la quantité que donne la différence de température de l'eau de condensation des appareils, température que nous avons comptée à 83° centigrades.

Pour la première expérience, nous avons pris la chaudière en plein travail, le matin, et nous l'avons laissée de même, le soir.

Pour la seconde, nous avons compris dans les résultats toute la houille brûlée et toute l'eau évaporée, dans une journée complète de travail des ateliers, depuis 5 heures du matin jusqu'à 7 heures du soir, soit 12 heures de travail net, avec l'arrêt du dîner. Ce jour-là a donné des résultats un peu inférieurs à ceux de la première journée; ce qui devait être, à cause de la houille brûlée le matin pour chauffer le fourneau.

Nous avons ensuite fait une journée complète d'expériences, en y comprenant toute la dépense de combustible et toute la production de vapeur, avec une des trois chaudières nouvellement montées, mais avec un foyer et des barreaux ordinaires.

Voici le tableau des expériences faites par nous, à l'Imprimerie impériale de Paris :

15 JUILLET 1858, 1^{re} JOURNÉE.

Foyer Guillemet, en prenant et laissant la chaudière en plein travail.

Houille brûlée en 6 heures 1/2 de travail,	kil. 250
Eau évaporée dans le même temps,	1650
Soit par heure, houille,	38,40
Id. vapeur,	254,83
Produit d'un kilogramme de houille avec de l'eau d'alimentation du canal à 23 degrés,	6,624
Produit calculé avec de l'eau d'alimentation à 83 degrés,	6,738

2^e JOURNÉE, DU 17, AVEC LE MÊME APPAREIL.

Houille brûlée en 12 heures de travail réel, le fourneau pris sans feu le matin et laissé sans feu le soir,	kil. 400
Eau évaporée en 12 heures,	2508
Houille par heure,	33,33
Vapeur par heure,	207
Produit d'un kilogramme de houille avec de l'eau à 23 degrés,	6,270
Produit avec de l'eau d'alimentation à 83 degrés,	6,874

3^e JOURNÉE, DU 20, AVEC LE FOYER ORDINAIRE.

Houille brûlée en 12 heures de travail réel, le fourneau pris et laissé vide, et pour le même travail des ateliers que ci-dessus,	kil. 450
Eau évaporée,	2432
Houille par heure,	37,50
Eau par heure,	203
Produit d'un kilogramme de houille, d'après l'observation avec de l'eau à 23 degrés,	5,40
Produit avec de l'eau d'alimentation à 83 degrés,	5,490

RÉSULTATS COMPARATIFS.

Produit moyen de deux journées avec le foyer Guillemet et de l'eau à 83 degrés,	kil. <u>6,556</u>
Produit avec le foyer ordinaire et de l'eau à 83 degrés,	5,490
Rapport des deux produits,	0,8375
Économie réalisée par l'appareil Guillemet sur les autres fourneaux, pour 100,	16 1/4

On voit que nous avons trouvé, avec la plus rigoureuse exactitude, l'économie de 45 ou 48 p. % annoncée par M. Perrin, comme réalisée par l'appareil Guillemet sur l'ancien service de l'Imprimerie impériale.

L'épaisseur de la couche de houille sur la grille Guillemet est de 8 ou 10 centimètres; la houille brûlée, dans toutes nos expériences était du *tout-venant de Mons* que l'on écrase entre des cylindres et que l'on passe à la claie, pour rendre plus régulière et plus certaine sa distribution dans les trémies et sur la grille.

Cette grille parcourt la distance, entre le devant et le fond du foyer, en 43 ou 45 minutes, c'est-à-dire qu'un barreau parcourt sa révolution complète en une heure et demie.

Pendant toutes nos observations, la pression de la vapeur est restée très-exactement de 5 atmosphères à 5 atmosphères 25. Le vide du condenseur s'est maintenu de 74 à 72 centimètres.

Ainsi, nous reconnaissons ici que l'appareil mécanique Guillemet, destiné à opérer la combustion complète de la fumée, réalise une économie de combustible très-importante, qui s'élève à près d'un cinquième, et que nous avons constatée de la manière la plus exacte et à plusieurs reprises; c'est un avantage qu'il a sur les principaux appareils mécaniques qui brûlent entièrement la fumée, mais qui ne donnent pas d'économie, comme M. Combes l'a constaté dans son grand et beau travail sur les appareils fumivores.

L'économie reconnue par nous sur les chaudières de 25 chevaux qui desservent l'Imprimerie impériale, se trouve confirmée par l'expérience du même appareil dans la filature de coton de M. Félix Guillemet, à Nantes.

Cet appareil conduit, depuis deux années une machine de 40 chevaux et tous les ateliers avec une chaudière de 29 mètres carrés de chauffe, qu'on employait précédemment comme rechange, pendant le nettoyage des autres chaudières, et qui ne pouvait fournir, à beaucoup près, une quantité suffisante de vapeur. Aujourd'hui, avec l'appareil Guillemet, cette chaudière alimente très-largement la machine de 40 chevaux et fournit même au delà des besoins.

La grille de cette chaudière a, longueur,	mèt.	1,00
Id. id. largeur,		0,83

Tout en donnant une économie très-importante, l'appareil que nous étudions est fumivore, de la manière la plus complète. Nous avons visité, maintes fois, depuis six mois, les ateliers de l'Imprimerie impériale, où l'on brûle excessivement de la *houille grasse de Mons*, et nous n'avons jamais vu sortir de la cheminée une trace de fumée,

quand le service est fait par une chaudière munie du foyer Guillemet, et quand un calorifère à air chaud, qui donne un peu de fumée, ne marche pas, ou lorsque son combustible est bien embrasé.

Ces résultats, comme absence complète de fumée, comme facilité et régularité de conduite, et comme puissance de production de vapeur; résultats que nous avons reconnus nous-même, nous ont été confirmés à plusieurs reprises par M. de Montluc, chef du matériel de l'Imprimerie impériale; par M. Perrin, mécanicien en chef; par les chauffeurs et par M. E. Beldon, ancien élève de l'École des arts et métiers d'Aix, qui a conduit pour nous ces expériences, avec beaucoup d'intelligence et de soins.

L'appareil fumivore de l'Imprimerie impériale a été, de la part de M. Corbes, de l'Institut, l'objet d'un rapport à M. le préfet de police.

Cet appareil ayant une grande puissance de combustion de houille et une puissance plus grande de production de vapeur pour une chaudière donnée, permet de produire plus à chaudière égale, ou de réduire la grille en surface, avec une quantité de houille donnée. Les prix de ces appareils sont très-modérés (4).

(1) S'adresser à M. Félix Guillemet, filateur et adjoint au maire de Nantes (Loire-Inférieure); ou à M. Grouvelle, ingénieur civil à Paris.

NOTE N° 2.

Relevé des températures moyennes des sept mois d'hiver, dans les dix années de 1840 à 1850, prises à l'Observatoire de Paris, et dans les comptes rendus de l'Académie des sciences.

HIVERS.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MOYENE DE CHAQUE HIVER.
De 1839-1840.	+ 10°,6	+ 8°,2	+ 5°,7	+ 3°,4	+ 5°,6	+ 3°,4	+ 12°,7	+ 6°,800
De 1840-1841.	+ 9°,5	+ 8°,0	- 2°,3	+ 2°,5	+ 2°,5	+ 9°,1	+ 10°,4	+ 5°,673
De 1841-1842.	+ 11°,4	+ 6°,8	+ 5°,5	- 1°,4	+ 4°,6	+ 8°,3	+ 10°,2	+ 6°,486
De 1842-1843.	+ 8°,5	+ 5°,4	+ 4°,1	+ 4°,5	+ 3°,7	+ 8°,0	+ 10°,5	+ 6°,386
De 1843-1844.	+ 11°,4	+ 7°,4	+ 4°,4	+ 2°,9	+ 2°,6	+ 6°,9	+ 12°,7	+ 6°,900
De 1844-1845.	+ 10°,8	+ 7°,1	- 0°,6	+ 2°,4	- 0°,6	+ 1°,3	+ 11°,2	+ 4°,514
De 1845-1846.	+ 10°,5	+ 8°,2	+ 5°,6	+ 5°,2	+ 6°,6	+ 7°,7	+ 10°,1	+ 7°,700
De 1846-1847.	+ 13°,8	+ 6°,1	- 0°,4	+ 2°,5	+ 3°,1	+ 5°,7	+ 8°,2	+ 5°,286
De 1847-1848.	+ 12°,3	+ 8°,4	+ 4°,0	- 1°,0	+ 6°,9	+ 7°,8	+ 11°,5	+ 7°,129
De 1848-1849.	+ 41°,7	+ 6°,6	+ 5°,8	+ 5°,3	+ 6°,5	+ 6°,2	+ 8°,7	+ 7°,259
De 1849-1850.	+ 12°,1	+ 6°,3	+ 4°,0	0°,0	+ 7°,5	+ 4°,8	+ 11°,4	+ 6°,586
Moyenne par mois.	11°,000	7°,03	3°,01	2°,290	4°,340	6°,580	10°,490	»
Moyenne des moyennes de mois.								6°,391
Moyenne des dix hivers à Paris.								6°,392
On peut prendre en nombre rond.								6°,400

Les températures moyennes des sept mois d'hiver sont nécessaires à tout moment, soit pour calculer les pertes et les dépenses moyennes de combustible d'un appareil de chauffage pendant un hiver entier, soit pour passer des marchés relatifs à un service de chauffage à faire, pendant une ou plusieurs années. Ce tableau, relevé par nous en 1850, est publié pour la première fois et sera certainement très-souvent utile.

NOTE N° 3.

Tot concernant les contraventions aux règlements sur les appareils des bateaux à vapeur.

TITRE PREMIER.

DES CONTRAVENTIONS RELATIVES A LA VENTE DES APPAREILS A VAPEUR.

Art. 1^{er}. Est puni d'une amende de 100 à 4,000 francs tout fabricant qui a livré une chaudière fermée ou toute autre pièce destinée à produire de la vapeur, sans qu'elle ait été soumise aux épreuves exigées par les règlements d'administration publique.

Est puni de la même peine le fabricant qui, après avoir fait dans ses ateliers des changements ou des réparations notables à une chaudière ou à toute autre pièce destinée à produire de la vapeur, l'a rendue au propriétaire sans qu'elle ait été soumise auxdites épreuves.

Art. 2. Est puni d'une amende de 25 à 200 francs tout fabricant qui a livré un cylindre, une enveloppe de cylindre, ou une pièce quelconque destinée à contenir de la vapeur, sans que cette pièce ait été soumise aux épreuves prescrites par lesdits règlements.

TITRE II.

DES CONTRAVENTIONS RELATIVES A L'USAGE DES APPAREILS A VAPEUR ÉTABLIS AILLEURS QUE SUR LES BATEAUX.

Art. 3. Est puni d'une amende de 25 à 500 francs quiconque a fait usage d'une machine ou chaudière à vapeur sur laquelle ne seraient pas appliqués les timbres constatant qu'elle a été soumise aux épreuves et vérifications prescrites par les règlements d'administration publique.

Est puni de la même peine quiconque, après avoir fait faire à une chaudière ou partie de chaudière, des changements ou réparations notables, a fait usage de la chaudière modifiée, sans en avoir donné avis au préfet, ou sans qu'elle ait été soumise de nouveau, dans le cas où le préfet l'aurait ordonné, à la pression d'épreuve correspondante au numéro du timbre dont elle est frappée.

Art. 4. Est puni d'une amende de 25 à 500 francs quiconque a fait usage d'un appareil à vapeur sans être muni de l'autorisation exigée par les règlements d'administration publique.

L'amende est de 400 à 4,000 francs si l'appareil à vapeur, dont il a été fait usage sans autorisation, n'est pas revêtu des timbres mentionnés en l'article précédent.

Néanmoins, l'amende n'est point encourue si, dans le délai de deux mois, pour les appareils à placer dans l'intérieur des établissements, et de trois mois pour les appareils placés en dehors, il n'a pas été statué par l'administration sur l'autorisation demandée.

Art. 5. Celui qui continue à se servir d'un appareil à vapeur pour lequel l'autorisation a été retirée ou suspendue, en vertu des règlements d'administration publique, est puni d'une amende de 400 à 2,000 francs, et peut être condamné, en outre, à un emprisonnement de trois jours à un mois.

Art. 6. Quiconque fait usage d'un appareil à vapeur autorisé, sans s'être conformé aux prescriptions qui lui ont été imposées en vertu desdits règlements, en ce qui concerne les appareils de sûreté dont les chaudières doivent être pourvues et l'emplacement de ces chaudières, ou qui continue à en faire usage, alors que les appareils de sûreté et les dispositions du local ont cessé de satisfaire à ces prescriptions, est puni d'une amende de 25 à 200 francs.

Art. 7. Le chauffeur ou mécanicien qui a fait fonctionner une machine ou chaudière à une pression supérieure au degré déterminé dans l'acte d'autorisation, ou qui a surchargé les soupapes d'une chaudière, faussé ou paralysé les autres appareils de sûreté, est puni d'une amende de 25 à 500 francs, et peut être, en outre, condamné à un emprisonnement de trois jours à un mois.

Le propriétaire, le chef de l'entreprise, le directeur, le gérant ou le préposé, par les ordres duquel a eu lieu la contravention prévue au présent article, est puni d'une amende de 400 à 2,000 francs, et peut être condamné à un emprisonnement de six jours à deux mois.

TITRE III.

DES CONTRAVENTIONS RELATIVES AUX BATEAUX A VAPEUR ET AUX APPAREILS A VAPEUR PLACÉS SUR LES BATEAUX.

Art. 8. Est puni d'une amende de 400 à 2,000 francs, tout propriétaire ou chef d'entreprise qui a fait naviguer un bateau à vapeur sans un permis de navigation délivré par l'autorité administrative, conformément aux règlements d'administration publique.

Art. 9. Le propriétaire ou chef d'entreprise qui a continué de faire naviguer un bateau à vapeur dont le permis a été suspendu ou retiré, en vertu desdits règlements, encourt une amende de 400 à 4,000 fr.,

et peut être condamné, en outre, à un emprisonnement d'un mois à un an.

Art. 40. Est puni d'une amende de 400 à 4,000 francs, tout propriétaire de bateau à vapeur ou chef d'entreprise qui fait usage d'une chaudière non revêtue des timbres constatant qu'elle a été soumise aux épreuves prescrites par les règlements d'administration publique, ou qui, après avoir fait faire à une chaudière ou partie de chaudière des changements ou réparations notables, a fait usage, hors du cas de force majeure, de la chaudière réparée ou modifiée sans qu'elle ait été soumise à la pression d'épreuve correspondante au numéro du timbre dont elle est frappée.

Art. 41. Est puni d'une amende de 200 à 4,000 francs, tout propriétaire d'un bateau ou chef d'entreprise qui, après avoir obtenu un permis de navigation, fait naviguer ce bateau sans se conformer aux prescriptions qui lui ont été imposées en vertu des règlements d'administration publique, en ce qui concerne les appareils de sûreté dont les chaudières doivent être pourvues, l'emplacement des chaudières et machines, et les séparations entre cet emplacement et les salles destinées aux passagers.

La même peine est applicable dans le cas où le bateau a continué à naviguer après que les appareils de sûreté ou les dispositions du local ont cessé de satisfaire à ces prescriptions.

Art. 42. Est puni d'une amende de 200 à 2,000 francs, tout propriétaire de bateau à vapeur ou chef d'entreprise qui a confié la conduite du bateau à vapeur ou de l'appareil à un capitaine ou à un mécanicien non pourvu des certificats de capacité exigés par les règlements d'administration publique.

Art. 43. Est puni d'une amende de 50 à 500 francs, le capitaine d'un bateau à vapeur si, par suite de sa négligence :

1^o La pression de la vapeur dans les chaudières a été portée au-dessus de la limite fixée par le service de navigation ;

2^o Les appareils prescrits, soit pour limiter ou indiquer cette pression, soit pour indiquer le niveau de l'eau dans l'intérieur des chaudières, soit pour alimenter d'eau les chaudières, ont été faussés ou paralysés.

Art. 44. Est puni d'une amende de 50 à 500 francs, et en outre d'un emprisonnement de trois jours à trois mois, le mécanicien ou le chauffeur qui, sans ordre, a surchargé les soupapes, faussé ou paralysé les autres appareils de sûreté.

Lorsque la surcharge a eu lieu hors du cas de force majeure, par l'ordre du capitaine ou du chef de manœuvre qui le remplace, le capitaine, ou le chef de manœuvre qui a donné l'ordre, est puni d'une

amende de 200 à 2,000 francs, et peut être condamné à un emprisonnement de six jours à deux mois.

Art. 15. Est puni d'une amende de 25 à 250 francs et d'un emprisonnement de trois jours à un mois, le mécanicien qui aura laissé descendre l'eau dans sa chaudière, au-dessous des conduits de la flamme et de la fumée.

Art. 16. Est puni d'une amende de 50 à 500 francs, le capitaine d'un bateau à vapeur qui a contrevenu aux dispositions des règlements d'administration publique ou des arrêtés des préfets, rendus en vertu de ces règlements, en ce qui concerne :

1° Le nombre de passagers qui peuvent être reçus à bord;

2° Le nombre et la nature des embarcations, agrès et appareils dont le bâtiment doit être pourvu;

3° Les prescriptions relatives aux embarquements et débarquements, et celles qui ont pour objet d'éviter les accidents au départ, au passage sous les ponts ou à l'arrivée des bateaux, ou de prévenir les abordages.

Art. 17. Dans le cas où, par l'inexécution d'un règlement, le capitaine d'un bateau à vapeur a heurté, endommagé ou mis en péril un autre bateau, il est puni d'une amende de 50 à 500, et peut être condamné, en outre, à un emprisonnement de six jours à trois mois.

Art. 18. Le propriétaire d'un bateau à vapeur, le chef d'entreprise ou le gérant, par les ordres de qui a eu lieu un des faits prévus par les art. 13, 14 et 16 de la présente loi, est passible des peines doubles de celles qui, conformément auxdits articles, seront appliquées à l'auteur de la contravention.

TITRE IV.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Art. 19. En cas de récidive, l'amende et la durée de l'emprisonnement peuvent être élevées au double du maximum porté dans les articles précédents.

Il y a récidive lorsque le contrevenant a subi, dans les douze mois qui précèdent, une condamnation en vertu de la présente loi.

Art. 20. Si les contraventions prévues dans les titres II et III de la présente loi ont occasionné des blessures, la peine sera de huit jours à six mois d'emprisonnement; si elles ont occasionné la mort d'une ou de plusieurs personnes, l'emprisonnement sera de six mois à cinq ans, et l'amende de 300 à 3,000 francs.

Art. 21. Les contraventions prévues par la présente loi sont constatées par les ingénieurs des mines, les ingénieurs des ponts et chaus-

sees, les gardes-mines, les conducteurs et autres employés des ponts et chaussées et des mines commissionnés à cet effet, les maires et adjoints, les commissaires de police; et, en outre, pour les bateaux à vapeur, les officiers de port, les inspecteurs et gardes de la navigation, les membres des commissions de surveillance instituées en exécution des réglemens, et les hommes de l'art qui, dans les ports étrangers, auront, en vertu de l'art. 49 de l'ordonnance du 17 janvier 1846, été chargés, par les consuls ou agents consulaires français, de procéder aux visites des bateaux à vapeur.

Art. 22. Les procès-verbaux dressés en exécution de l'article précédent sont visés pour timbre et enregistrés en débet.

Ceux qui ont été dressés par les agents de surveillance, les gardes assermentés, doivent, à peine de nullité, être affirmés dans les trois jours, devant le juge de paix ou le maire, soit du lieu du délit, soit de la résidence de l'agent.

Lesdits procès-verbaux font foi jusqu'à preuve contraire.

Les procès-verbaux qui ont été dressés dans les ports étrangers par les hommes de l'art, désignés en l'art. 21 ci-dessus, sont enregistrés à la chancellerie du consulat et envoyés en originaux au ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, afin que les poursuites soient exercées devant les tribunaux compétents.

Art. 23. L'art. 463 du Code pénal est applicable aux condamnations prononcées en exécution de la présente loi.

NOTE N° 4.

Projet d'acte pour la vente d'une machine à vapeur.

Nous donnons ici un modèle de traité à passer entre un manufacturier et un mécanicien, traité qui évitera bien des difficultés à venir, dans les affaires de ce genre.

Entre les soussignés :

M. _____ d'une part,
et de l'autre part M. _____ ingénieur-mécanicien
à _____
a été convenu ce qui suit :

ARTICLE PREMIER.

M. _____ commande au second soussigné, une machine à vapeur de la force de _____ chevaux-vapeur, à deux cylindres, à balancier ou à cylindre horizontal ou vertical, avec sa chaudière à bouilleurs, tous les robinets et tuyaux de communication entre la chaudière et la machine, les barreaux, la devanture de fourneaux, les supports de bouilleurs et le registre, et les appareils de sûreté prescrits par les ordonnances.

Le cylindre aura _____ de diamètre et sera muni d'une chemise à vapeur; la chaudière aura _____ mètres carrés de surface de chauffe (au moins 4^m,50 par cheval et 2 mètres dans les petites forces).

Il y aura avec la machine une pompe de puits, 4 mètres de tuyaux d'aspiration et 4 mètres de refoulement, et la bielle aura autant de longueur qu'en permettra le système de construction. Outre le modérateur à boules, il y aura un régulateur de détente La Rivière, celui de M. Bourdon ou celui de M. Farcot, ou un autre aussi bon. La machine sera munie d'un appareil à chauffer l'eau d'alimentation.

ART. 2.

Le cylindre sera enveloppé de foudre et de bois, ou de plastique Pimont, aux frais de l'acheteur; les ports de la machine seront pareillement aux frais de ce dernier, lequel sera tenu de fournir les manœuvres et les agrès nécessaires pour mettre en place la chaudière et les fortes pièces de la machine, travail qui sera dirigé et fait par le monteur de M. _____; celui-ci, de son côté, fournira les ouvriers nécessaires au montage de la machine en dehors des manœuvres.

ART. 3.

La machine devra être livrée dans mois, à dater de ce jour, et être montée et prête à marcher en jours, à compter de son arrivée sur place.

Le preneur aura le droit de faire visiter sa machine par une personne de son choix, avant qu'elle sorte des ateliers de M. sans préjudicier en rien à la garantie stipulée plus bas.

ART. 4.

M. garantit que la machine, sa chaudière et les accessoires seront en matériaux de la meilleure qualité et exécutés dans les meilleures conditions de solidité et de perfection. Il garantit la bonne marche et le bon travail de ses fournitures pendant *un an*, à dater de la mise en activité, pour les machines au-dessus de six chevaux, s'engageant à changer à ses frais toutes les pièces qui viendraient à être brisées ou avariées, par un vice de construction ou de matière, sans pouvoir être responsable des bris ou accidents qui seraient occasionnés par les ouvriers du preneur, et sans qu'il puisse y avoir lieu à des dommages-intérêts pour le fait de ces réparations, qui, du reste, devront être commencées de suite et exécutées dans le plus bref délai, d'accord avec M. , pour ne pas nuire au travail des ateliers.

ART. 5.

M. garantit que la machine essayée au frein donnera, sur une journée de travail, une force minimum de chevaux de 75 kilogrammes élevés à 4 mètre par seconde, avec une consommation de kilogrammes de bonnes gaillettes de Mons, par heure et par cheval, en y comprenant la houille brûlée le matin pour chauffer la chaudière et mettre la machine en marche et toute la vapeur produite le soir, à la fin de la journée.

Le frein sera fourni par le mécanicien et les frais de l'essai seront à la charge du preneur, s'il réclame l'essai.

ART. 6.

Le prix de la machine à vapeur, de sa chaudière et de ses accessoires est fixé d'accord et à forfait à la somme de que M. s'oblige à payer, à son choix, soit comptant ou escompte de , soit en valeurs de commerce à trois mois.

NOTE N° 5.

De la fabrication du fer avec les lignites du Piémont, et avec des fours à réchauffer, triplés et septuplés,

Par le major Rossi, ingénieur des mines, correspondant de l'Académie royale des sciences de Turin.

Nous avons déjà donné dans notre premier volume (379), la description et le tracé des fours triples du major du génie Rossi; voici l'analyse d'un important mémoire et de recherches chimiques publiées dans les Mémoires de l'Académie des sciences, et où l'on trouvera les analyses techniques et élémentaires des trois lignites, que fournissent les principales exploitations de ce combustible en Piémont, celui de Nocetto, celui de Cadibona et celui de Gonessa, en Sardaigne, leur puissance calorifique et les moyens de les brûler avantageusement pour le travail du fer, ou pour la production de la vapeur.

Ces résultats ont une grande importance en France, où la majeure partie du littoral de la Méditerranée, et particulièrement l'immense industrie manufacturière de Marseille, n'alimente ses fabriques de produits chimiques ou de savon, ses raffineries de sucre, etc., qu'avec des houilles qui viennent de Rive-de-Gier ou d'Alais, et qui sont très-chères, ou avec des lignites que fournit abondamment le pays, qui reviennent à bon marché, mais que l'on brûle encore très-mal.

M. Rossi constate d'abord que le développement de la richesse du Piémont dépend de l'installation de ses voies ferrées dans des conditions économiques; et qu'aujourd'hui, soit pour leur établissement, soit pour leur entretien, ces voies sont forcées de prendre leurs fers à l'étranger, à un prix très-élevé; ceux du pays, fabriqués au bois, revenant encore trop cher pour ce service.

Il montre ensuite un remède assuré à cette fâcheuse position, dans une réduction très-importante à réaliser, sur les frais de fabrication des rails en Piémont :

1° En réduisant dans un rapport considérable, d'un tiers à 43 %, la dépense actuelle de combustible pour la tonne de rails, économie qui résulte d'une combinaison de fours à réchauffer qui lui appartient;

2° En substituant dans les fours à réchauffer les lignites du pays aux houilles anglaises, substitution dont M. Rossi trace la marche

complète, en y appliquant des dispositions et des formes de grille qu'il donne.

Le premier moyen repose sur l'emploi de *fours à réchauffer*, réunis de manière à utiliser au chauffage d'un four, la chaleur perdue de deux autres.

On trouvera, tome I^{er}, page 241, et planches 27 et 28, les principes sur lesquels repose cette découverte, la description et les plans d'un système complet à trois fours, avec injection d'air chaud, pour brûler l'oxyde de carbone que contient en grande quantité la fumée des fours à réchauffer, et utiliser la chaleur ainsi dégagée au chauffage du troisième four; on trouvera, tome II, *pl. 24, fig. 71 et 71 bis*, le tracé de l'appareil à tuyères qui lance l'air chauffé, dans le courant de fumée encore rouge, des deux premiers fours, avant qu'elle aille porter le troisième à la haute température qu'il doit avoir.

M. Rossi constate que dans tout four métallurgique, travaillant dans les conditions du plus grand effet utile, la quantité de chaleur, utilisée dans le travail, n'exécède pas 0,40, et que la quantité de chaleur perdue ou expirée par le four est de 0,70 de la quantité totale de chaleur dégagée par le combustible; les autres 0,20 se répartissent comme suit :

Quantité de chaleur à fournir pour former la vapeur d'eau, l'oxyde de carbone et la fumée,	0,08
Quantité absorbée par les parois du four,	0,04
Quantité en poids de combustible non brûlé en menues escarbilles, coke et cendres,	0,03
Quantité de carbone du combustible entraîné en nature par le courant, et disponible pour brûler, s'il y avait plus d'air,	0,05
Total,	0,20

Il y a donc, dans la fumée de tous les fours à fer, des éléments combustibles, comprenant de l'oxyde de carbone :

Qui équivalent à	0,06
Et ils s'élèvent ensemble à	0,11

En partant de ces bases, M. Rossi arrive, par des calculs très-déliés et rigoureux, à constater qu'en utilisant la chaleur perdue de deux fours à réchauffer, au chauffage d'un troisième four, travaillant dans les mêmes conditions de température du blanc soudant et de quantité de fer produit, le chauffage du troisième four se fait sans aucune dépense de combustible en nature, ou avec une économie de

combustible de 0,33, puisque le fer est produit par trois fours, dont deux seulement exigent du combustible.

Nous avons donné, dans notre premier volume, les dispositions complètes du système à trois fours, et de l'appareil à chauffer l'air avec la chaleur perdue du troisième four, et à le lancer dans le courant de fumée qu'on doit brûler. Nous ajoutons aux plans des fours triplés de notre premier volume (*pl. 24, fig. 71 et 71 bis*) la coupe horizontale et verticale de l'appareil à buse qui sert à lancer, dans le courant de fumée des deux premiers fours, la quantité d'air chaud nécessaire à la combustion.

Avec les deux systèmes à fours triplés ou septuplés, la pression manométrique à la machine soufflante, prenant l'air à la température atmosphérique, sera

De	mf. 0,045
Et avec l'air chaud, aux buses, de	0,040

Fours septuplés. — Ce système se compose de deux systèmes de fours triplés, chauffant un septième four qui se trouve chauffé avec la chaleur perdue des six premiers. L'air à fournir aux trois appareils à buses, qui existent dans ce système, est chauffé par la chaleur perdue du septième four; des grilles de recours doivent être établies sous tous les fours qui ne sont pas chauffés directement; des carnaux sont disposés aussi de manière à ne pas interrompre le travail de tous les fours, pour la réparation de l'un d'eux.

L'économie sera ici de 43 % du combustible brûlé pour le travail ordinaire du fer.

Chaudières à vapeur. — Comme nous l'avons dit précédemment, on utilise parfaitement la chaleur perdue du système à trois fours ou celle des fours septuplés, pour chauffer une chaudière à vapeur; avec deux systèmes triples accolés, on chauffe deux chaudières à vapeur de 60 mètres carrés chacune, pouvant suffire ensemble à une machine de 60 chevaux.

Lignites du Piémont, de Nocetto, de Cadibona et de Gonessa; leurs compositions chimiques et leurs pouvoirs calorifiques, comparativement aux houilles anglaises.

Nous devons à une lettre très-détaillée de M. Rossi, les éléments suivants qui sont remplis d'un haut intérêt, extraits de son beau mémoire et qui répondent aux questions non encore résolues pour l'emploi avantageux des lignites.

Il a pris d'abord pour base de ses calculs les pouvoirs calorifiques, moyens donnés par Dulong et par Pécelet, pour le carbone et l'hydrogène, savoir :

Carbone.	. . . {	Dulong,	7170	} Moyenne,	calories 7485
		Pécelet,	7800		
Hydrogène.	. . . {	Dulong,	34742	} Moyenne,	calories 29191
		Pécelet,	23640		

Les houilles anglaises qui sont généralement employées par les usines à fer et presque toutes les industries du Piémont, ont pour composition élémentaire :

Carbone,	76	} Hydrogène en excès sur l'oxygène,	3,55
Hydrogène,	5,05		
Oxygène,	12		
Azoté,	1,35		
Cendres,	5,40		

Pouvoir calorifique théorique.

Carbone,	7485	×	0,76	=	calories 5689
Hydrogène,	29191	×	0,0355	=	1036
Total,					calories 6728

Cette puissance, à cause de la proportion des cendres de la houille, doit être réduite de 6 % et ramenée à 6,320 calories.

Pour éviter toute objection dans ses calculs, M. Rossi a adopté pour le pouvoir calorifique pratique une réduction qui ramène le pouvoir théorique de la houille à 6,500 calories.

Nous avons montré, tome I^{er} (344), que le pouvoir théorique des meilleures houilles, au calorimètre, était pour 1 kilog. de 7,050 calories.

C'est à peu près 5 % de plus que le pouvoir théorique moyen, le plus haut, donné par le calcul de M. Rossi pour les houilles anglaises employées en Piémont, les cendres déduites.

Composition des lignites du Piémont.

Lignites de Cadibona (Apennins, près de Savone). — Composition technique. Analyse par la litharge, par MM. Maus, Sismonda et Sobrero.

Carbone,	48,30	} équivalent en carbone à	11,60
Matières volatils,	44,10		
Cendres,	7,60		

Pouvoir calorifique théorique.

Carbone, les deux quantités réunies, $7485 \times 0,599 =$ calories 4483

Pouvoir calorifique pratique.

Réduit de 10 0/0, à cause des cendres, calories 4035
 Porté cependant à 4200

Les lignites qui précèdent ont d'ailleurs les plus grands rapports de composition avec ceux qui suivent, et appartiennent à la même formation de terrains.

Lignites de Nocetto (Apennins, vallée du Tanaro). — Composition technique, par MM. Maus, Sismonda et Sobrero.

Carbone,	40	} équivalant en carbone à	16,10
Matières volatiles,	51,50		
Cendres,	8,50		

Composition élémentaire, par M. l'ingénieur en chef Gruner Saint-Étienne.

Carbone,	65,70	} Hydrogène en excès,	2,785
Hydrogène,	4,95		
Oxygène et azote,	19,35		
Cendres,	10		
Total,	100		

Composition élémentaire, d'après les analyses du major Rossi.

Carbone,	61,84	} Hydrogène en excès,	1,55
Hydrogène,	4,79		
Oxygène et azote,	23,57		
Cendres,	4,80		
Total,	100		

Composition moyenne adoptée pour les calculs.

Carbone,	57,80
Hydrogène,	4,66
Oxygène,	23,30
Azote,	2,50
Cendres,	6,65

Pouvoir calorifique théorique.

Carbone,	$7,485 \times 0,578 =$	calories 4326
Hydrogène,	$29,191 \times 0,0112 =$	327
Total,		calories 4653

Pouvoir calorifique pratique.

Les cendres à 10 0/0,	calories 4185
Porté dans les calculs à	4350

Lignites de Gonessa (Sardaigne). — Composition élémentaire.

	COUCHES SUPÉRIEURES	COUCHES INFÉRIEURES	RÉSULTATS MOYENS
	Analyse du laboratoire de chimie des mines à Turin.	Analyses de M. Rossi.	ADOPTÉS.
Carbone. . . .	59,96	70,55	65,26
Hydrogène. . .	4,75 Hydrog. en excès, 1,38	5,25 Hydrog. en excès, 3,08	5 Hydrog. en excès, 2,26
Oxygène et azote réunis.	29,42	19,40	22,20 2,31
Cendres. . . .	5,85	4,80	5,33

Pouvoir calorifique théorique.

Carbone,	$7,485 \times 0,6526 =$	4885
Hydrogène,	$29,191 \times 0,226 =$	660
Total,		5545

Pouvoir pratique.

8 0/0 de réduction pour les cendres, soit	calories 5,100
Et dans les calculs, à	5,250

Proportion de soufre dans les lignites qui précèdent et dans les houilles anglaises.

	PROPORTION	PROPORTION	OBSERVATIONS.
	TOTALE.	NUISIBLE.	
Lignites de Cadibona.	3,236	2,697	2 analyses de Maus, Sismonda et Sobrero.
Id. de Nocetto . .	3,818	3,118	Id. id.
Id. id. . .	3,225	2,664	3 analyses Rossi.
Id. de Gonessa. . .	2,387	2,259	5 analyses Rossi.
Houilles anglaises. . .	1,719	1,655	2 analyses de Maus, Sismonda et Sobrero.

Eau hygroscopique.

Houille anglaise en gros fragments, à l'abri de l'humidité,	5 à 8 0/0
Id. id. exposée à l'air humide,	
jusqu'à	11
Lignites de Cadibona et de Nocetto en gros fragments, de	8 à 10
Id. id. en menus, de	10 à 14
Id. id. à l'air humide,	18
Lignites de Gonessa en gros fragments, de	6 à 8
Id. en menus, de	8 à 12
Id. à l'air humide,	15

Les lignites de Cadibona et de Nocetto se trouvent dans les Apennins (sardes). Ce sont les dépôts les plus importants exploités aujourd'hui dans le Piémont. On en rencontre d'autres dépôts dans les mêmes montagnes qui pourraient être extraits avec autant d'avantages.

De la puissance calorifique des lignites en général, et du produit en vapeur que l'on peut en obtenir.

Nous avons abordé cette question dans notre premier volume, page 246; mais nous avons dit qu'à notre connaissance aucune expérience directe n'avait encore été faite sur cette question; M. Rossi n'en connaît pas non plus, sur la production des lignites en vapeur; mais nous pouvons la déduire approximativement, des analyses et des calculs relatifs aux pouvoirs calorifiques des lignites qui précèdent.

En effet, le pouvoir calorifique théorique moyen, cendres déduites, est :

1° Lignites de Cadibona,	calories 4,035
2° Id. de Nocetto,	4,188
3° Id. de Gonessa,	moyenne 5,100
	<hr/>
Moyenne,	calories 4,441

En les comparant aux meilleures houilles, qui rendent 7,050 calories au calorimètre, et avec les fourneaux ordinaires, vapeur de 6 kil. à 6 kil. 50, on peut compter, que les lignites brûlés dans de bonnes conditions de combustion, comme nous le montrerons tout à l'heure, donneront.

1° Avec des chaudières ordinaires de 20 chevaux,	kil. 4
2° Avec des chaudières de Farcot rendant 7,50 kil. de vapeur, avec la houille,	4,75
3° Avec l'appareil Beaufumé, rendant 10 kil.,	6,30

Substitution des lignites, à la houille dans les foyers. Proportions des foyers à lignites.

M. Rossi analyse ensuite les conditions auxquelles doivent satisfaire des foyers, pour brûler des lignites, dans les mêmes conditions d'effet utile que les houilles, et il prouve que les foyers à houille ne peuvent pas recevoir avantageusement les lignites.

Cet emploi doit être soumis aux conditions suivantes :

1° Une plus grande surface de combustion, un plus grand volume d'air et une plus grande vitesse de courant, par suite, une plus grande surface de grille, une plus grande aire de vide, entre les barreaux de grille, une plus grande activité dans la combustion du charbon et des matières solides;

2° La forme trapézoïdale de la grille, l'inclinaison de la grille vers l'autel, la section des barreaux, trapézoïdale et non pas rectangulaire;

3° La longueur de la grille à houille, reste la même à travail égal; la largeur doit donc augmenter;

4° On doit aussi conserver à la grille à houille, sa largeur à l'autel, ce qui donne la forme trapézoïdale;

5° L'air doit arriver sous la grille par des conduits souterrains placés au-dessous du niveau du sol, et être chassé par un ventilateur; les barreaux doivent être en éventail suivant l'axe du four;

6° Il faut mélanger de la chaux en poudre ou en sable, au combustible.

On trouvera, *pl. 44, fig. 37 et 37 bis*, les détails des grilles à brûler les lignites sardes.

Les trois exemples suivants rendront ces principes très-clairs :

1° Grille à houille pour un four à réchauffer.

Longueur de la grille,	mèt. 0,82
Largeur de la grille,	1
Section de la grille,	0,82
Nombre des barreaux,	25
Id. des vides,	26
Aire totale des barreaux,	0,622
Id. des vides,	0,218
Largeur d'un barreau en haut,	0,296
Hauteur d'un barreau,	0,055
Largeur en bas,	0,010

2° Grille pour les lignites de Nocetto et de Cadibona.

Longueur de la grille, suivant l'axe du four,	mèt. 0,82
Largeur de la grille sur le derrière,	1,60
Id. sur le devant,	1,20
Surface de la grille,	mèt. q. 1,97
Nombre des barreaux,	42
Id. des vides,	43
Aire des barreaux,	mèt. q. 0,73
Aire des vides,	0,85
Hauteur des barreaux,	mèt. 0,057
Largeur en haut,	0,019
Id. en bas,	0,016
Intervalle des barreaux,	0,005

Le plan supérieur des barreaux est un peu arrondi sur le travers.

3° Grille pour les lignites de Gonessa (Sardaigne).

Longueur de la grille,	mèt. 0,82
Largeur au fond,	1
Id. sur le devant,	1,16
Surface de la grille,	0,92
Nombre des barreaux,	35
Id. des vides,	36
Hauteur des barreaux,	mèt. 0,055
Largeur en haut,	0,0285
Id. en bas,	0,010
Intervalle des barreaux,	0,006

La surface supérieure des barreaux est aussi légèrement arrondie, sur le travers.

Résultats économiques de l'emploi des lignites piémontais, des fours triplés et des fours septuplés.

Nous donnons ici plusieurs tableaux pris dans le mémoire de M. Rossi, et qui établissent le parallèle entre la fabrication du fer et des rails, avec la houille anglaise et avec les trois lignites dont nous avons parlé, et en employant, soit les fours triplés, soit les fours septuplés.

Parallèle, par la consommation du combustible, pour la fabrication d'une tonne de rails entre le système en usage et le système à fours triplés.

	NOCETTO.	CAUBONA.	GONESSA.
<i>1° Système en usage partout : fours à réchauffer ordinaires.</i>			
Fer brut en paquets : 1325 pour 1000 de rails finis.			
Consommation en combustible pour la fabrication du fer : 1048, 1017, 853 pour 1000 kilogrammes.	1388,60	1347,52	1130,22
Consommation en combustible pour la fabrication de la tonne de rails : 1089, 1056, 886 pour 1000 kilog. .	1089	1056	886
Consommation totale en combustible.	2477,60	2403,52	2016,22
<i>2° Système à fours triplés.</i>			
Fer brut en paquets : 1325 pour 1000 de rails finis.			
Consommation en combustible pour la fabrication du fer : 700, 678, 569 pour 1000 kilogrammes.	927,50	898	753,92
Consommation en combustible pour la fabrication de la tonne de rails : 726, 704, 590 pour 1000 kilog. . .	726	704	590
Consommation totale en combustible.	1653,50	1602,35	1343,92

Ce parallèle, entre le système par les fours à réchauffer ordinaires en usage jusqu'à présent et le système à fours triplés, avec l'emploi des lignites de Nocetto, Cadibona et Gonessa, dans la fabrication du fer et des rails et dans les deux systèmes, donne les mêmes résultats que l'on aurait avec l'emploi de la houille anglaise, c'est-à-dire que, par le système à fours triplés, on obtient sur la consommation du combustible, une économie de 33 % sur la dépense faite avec le système en usage des fours à réchauffer ordinaires, isolés et indépendants dans leur fonctionnement.

Parallèle pour la fabrication d'une tonne de rails sur la consommation du combustible avec emploi des houilles, et le système à fours triplés avec emploi des lignites de Nocetto, Cadibona et Gonessa.

Système ordinaire avec emploi des houilles.

Consommation totale en houille pour la fabrication du fer et des rails,
par tonne de rails, kil. 1536,25

Système à fours triplés, avec emploi des lignites.

Consommation totale en lignites pour la fabrication du fer et des rails,
par tonne de rails :

Lignite de Nocetto,	kil. 1653,50.	— En plus, en poids,	kil. 117,25
Id. de Cadibona,	1602,35.	— Id.	68,10
Id. de Gonessa,	1343,92.	— En moins,	192,33

Parallèle pour la fabrication d'une tonne de rails sur la consommation du combustible, entre le système ordinaire et le système à fours septuplés.

	NOGETTO.	CAMBONA.	CONESSA.
<i>1° Système en usage : fours à réchauffer ordinaires.</i>			
Fer brut en paquets : 1325 pour 1000 kilogrammes.			
Consommation en lignites pour la fabrication du fer : 1048, 1017, 853, pour 1000 kilogrammes.	1388,60	1347,52	1130,22
Consommation en lignites pour la fabrication de la tonne de rails.	1089	1056	886
Consommation totale en combustible.	2477,60	2453,52	2016,22
<i>2° Système à fours septuplés.</i>			
Fer brut en paquets : 1325 pour 1000 kilogrammes.			
Consommation en lignites pour la fabrication du fer : 598,90, 581,58, 487,91, pour 1000 kilogrammes.	793,54	770,59	616,48
Consommation en lignites pour la fabrication de la tonne de rails.	622,74	602,91	506,12
Consommation totale en combustible.	1416,28	1373,50	1152,60

Ces résultats sont identiques avec ceux qui résultent de l'emploi des houilles, et la dépense en combustible par le système à fours septuplés, ne serait que les 0,57 de celle par le système en usage; l'économie en combustible serait les 0,43 de cette dernière.

Parallèle dans la fabrication d'une tonne de rails pour la consommation du combustible entre le système en usage avec l'emploi des houilles et le système à fours septuplés et les lignites de Nocetto, Cadibona et Gonessa.

1 ^o <i>Système ordinaire avec emploi des houilles.</i>			
Consommation totale en houille pour la fabrication du fer et des rails. kil. 1536,25			
2 ^o <i>Système à fours septuplés avec emploi des lignites.</i>			
	NOCETTO.	CADIBONA.	GONESSA.
Consommation totale en lignites pour la fabrication du fer et des rails. . .	1416,28	1373,50	1152,60
Différence en économie. . .	119,97	162,75	385,65

A l'économie si importante qui précède, s'ajoute l'économie plus grande encore résultant de la différence de prix entre les lignites du Piémont et les houilles anglaises, rendus tous dans les usines à fer.

Lignites du bassin des Bouches-du-Rhône.

Les lignites du bassin du Rhône sont beaucoup supérieurs à ceux du centre, de l'est et du nord de la France, et sont classés parmi les *houilles* par l'administration des mines; ils ont beaucoup d'analogie avec le *cannel-coal* anglais.

Ainsi que nous l'avons dit dans notre premier volume, les mines de Marseille en consomment de très-grandes quantités, et notamment les teintureries et les fabriques de savon, où on le préfère à la houille. Il y a des bateaux à vapeur dont les chaudières sont à longs tubes qui paraissent l'employer avec avantage à cause de sa longue flamme; le prix des lignites, à Marseille, varie de 17 à 28 francs, suivant leur qualité et leurs arrivages, quand le prix moyen des houilles d'Alais est de 39 francs.

Les houilles de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier sont beaucoup plus chères, à cause de leur qualité supérieure et de l'éloignement de leur lieu d'extraction.

La puissance de production de vapeur des lignites est comblée en moyenne comme étant les deux tiers de celle de la houille, ainsi que nous l'avons dit tome I^{er}, page 216.

L'emploi des lignites donne donc une économie importante en argent.

NOTE N° 6.

Sur des accidents arrivés à une chaudière à vapeur, par suite de l'ouverture instantanée et en grand des soupapes de sûreté.

Observation de M. de Lagarde, ingénieur civil à Rennes (Ille-et-Vilaine).

Nous avons été consulté récemment, sur un cas nouveau de détérioration de chaudières. L'importance de la question et celle de la cause qui paraît avoir amené ces accidents, nous engagent à en faire l'objet d'une note.

Une chaudière de douze chevaux avait eu ses bouilleurs portés de 0,35 de diamètre à 0,50, et son travail d'extraction des eaux d'une carrière, diminué, au contraire, de beaucoup.

Deux fentes se déclarèrent en même temps aux deux bouilleurs, au-dessus du coup de feu; les deux bouilleurs avaient des déformations presque pareilles, à un mètre en arrière de leur extrémité antérieure, et étaient devenus concaves en dedans, avec une flèche de 45 millimètres environ, suivant la génératrice des cylindres, et sur une longueur de 0,35. A la partie médiane de ces déformations, la tôle était fendue. Ces tôles, visitées à l'intérieur des deux bouilleurs, étaient devenues légèrement rouges, comme du fer passé au feu. Les experts nommés, pensèrent que la tôle des bouilleurs, qui n'était que de deuxième qualité, avait dû subir quelque coup de feu, et firent remplacer la partie malade par de la *tôle au bois de première qualité*, dont ils vérifièrent d'avance la bonté.

Sept mois après cette double réparation, le même accident se présenta de nouveau, sauf les fentes, que l'excellente qualité des tôles employées n'avait pas encore laissé se produire; les déformations en dedans avaient déjà 40 ou 44 millimètres de profondeur.

M. de Lagarde, l'un des experts, qui avaient suivi les premières détériorations, nous a demandé notre avis sur les dispositions qui ont pu les amener. Nous adhérons complètement à la cause qu'il nous a signalée pour ces accidents, dus certainement à une manœuvre très-dangereuse du chauffeur.

Cette chaudière conduit une machine de 42 chevaux employée aux épuisements d'une carrière: 4 chevaux au plus sont employés aujourd'hui, l'on est forcé d'arrêter la machine plusieurs fois par jour, et

chaque fois que les eaux, dans la carrière, descendent au-dessous du tuyau d'aspiration de la pompe.

A chaque arrêt de la machine, le chauffeur *ouvre en grand ses deux soupapes de sûreté*, pour laisser échapper la vapeur à 5 atmosphères que contient la chaudière. Comme les tôles des bouilleurs sont rougies intérieurement et déformées du dehors au dedans, ainsi que le sont toujours des *fonds plats de chaudières à basse pression*, M. de Lagarde pense, avec pleine raison, qu'il s'est produit dans la chaudière un vide, prouvé par les déformations *du dehors au dedans*, et que, quand le chauffeur ouvre à la vapeur deux issues très-larges et instantanées, le foyer restant toujours avec un feu couvert et au moins des briques rouges, il se forme au coup de feu des deux bouilleurs une masse considérable de vapeur qui soulève l'eau, l'écarte de manière à laisser sans eau la tôle, qui rougit et se déforme bien vite.

L'exactitude de cette explication est prouvée par les faits qui ont accompagné le nouvel accident.

Pendant six mois, la machine a travaillé sans interruption, et avec une charge régulière, pour vider la carrière, qui était remplie d'eau, et aucune détérioration quelconque ne s'est produite. Dès que la carrière a été épuisée, dès que la machine et la pompe d'épuisement ont dû être arrêtées plusieurs fois par jour, et aussitôt que le chauffeur, pour se débarrasser d'une vapeur très-abondante dont il n'a plus l'emploi, a recommencé à ouvrir en grand ses soupapes de sûreté, un nouvel accident, pareil au premier, s'est produit en *dix jours de travail*.

C'est en effet une manœuvre très-dangereuse, pour les chaudières à vapeur, que d'ouvrir ainsi en grand des soupapes de sûreté dont le diamètre est calculé, pour laisser écouler une quantité de vapeur beaucoup plus grande que celle que peut produire la chaudière; l'eau des bouilleurs est évidemment soulevée par la vapeur qui se produit au-dessus du foyer, et la tôle, laissée à sec, brûle et se déforme en dedans.

L'écoulement de la vapeur à haute pression, dans l'air, produit aussi des vibrations très-vives qui doivent se transmettre à celle des bouilleurs, et contribuent puissamment à la déformation.

Jamais les soupapes de sûreté d'une chaudière en pleine vapeur, et avec le foyer chaud, ne doivent être *ouvertes en grand*, excepté en cas de danger d'explosion. Hors de là, c'est le robinet d'arrêt du tuyau d'échappement de vapeur, qui doit être manœuvré par degrés et avec précaution.

NOTE N° 7.

**Essai sur l'équivalent mécanique de la vapeur,
par M. Ch. Laboulaye.**

Nous donnons ici presque en entier cet important mémoire, qui traite une des questions les plus difficiles et les plus graves de la mécanique rationnelle et de la mécanique industrielle (1).

Puissance motrice de la chaleur.

*Du travail produit par la chaleur. Induction de M. Poncelet.
Théorie de Sidi-Carnot.*

L'analyse de la manière dont la chaleur produit un travail et l'évaluation de celui-ci, forment les éléments qui peuvent permettre la solution des problèmes qu'offre le bon emploi de la chaleur.

Il est inutile de rappeler que la chaleur, introduite dans l'industrie, comme moyen d'engendrer du travail mécanique, par les belles inventions d'hommes de génie, est, en réalité, la source de force la plus générale et la plus importante; c'est elle qui, par la vaporisation, est la cause des chutes d'eau; c'est elle, si on voulait aller plus loin, qui est la cause du travail de l'homme, dont la respiration est une véritable combustion. Mais bornons-nous à la chaleur produite par la combustion dans les foyers, en ayant soin de la considérer en elle-même et de ne pas la confondre avec les excipients qui servent à l'utiliser, vapeur d'eau, d'alcool, etc., etc.

Il est important, outre cette distinction élémentaire, de mettre encore hors de doute un autre principe trop souvent oublié dans la théorie de la machine à vapeur; principe qui paraît presque évident: c'est que le travail d'une unité de chaleur, d'une calorie, de la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un kilogramme d'eau d'un degré centigrade, a un maximum de travail théorique, comme un poids d'eau qui tombe d'une certaine hauteur. On ne saurait admettre, en

(1) *Essai sur l'équivalent mécanique de la chaleur*, par M. Ch. Laboulaye; chez Lacroix et Baudry (1858).

effet, qu'une quantité limitée de chaleur pût, dans aucune circonstance, produire un travail infini; ce serait admettre un effet qui ne fût pas en rapport avec la cause qui le produit. C'est ce qui va paraître encore plus clair, en étudiant la manière dont la chaleur produit du travail.

En partant de la conception de la chaleur, du calorique, généralement admise jusque dans ces derniers temps, M. Poncelet établit les principes fondamentaux de l'emploi de la chaleur, par une induction très-simple.

Il démontre d'abord qu'un gaz comprimé développe un même travail, de quelque manière qu'il se détende, pourvu que ce soit d'une même fraction de son volume. Ainsi, s'il se détend dans deux corps de pompe fermés par des pistons différents A, a; e, E, étant les chemins parcourus, le travail sera dans les deux cas pAe , paE , la pression p étant supposée constante pour un mouvement très-petit; or, les quantités Ae , aE représentant le volume dont le gaz s'est détendu, quantités égales par hypothèse, le travail est donc le même.

Ceci admis, le calorique pouvant, dans tous ses effets, être considéré comme un fluide sans inertie ni pesanteur, d'une élasticité parfaite, produisant des dilatations quand il s'accumule, des contractions quand il diminue; on doit lui appliquer *à fortiori* le principe posé pour la détente des gaz, ce qui revient à dire :

« Qu'une certaine quantité de chaleur introduite dans un corps, ou soustraite de ce corps, doit faire naître, contre des résistances directement opposées à son action, des quantités de travail absolues qui sont toujours les mêmes ou indépendantes de la nature des corps, mais dont une certaine partie est, dans les liquides et les solides, employée à contre-balancer la force d'agrégation des molécules. »

L'assimilation du calorique à un fluide n'étant plus admise aujourd'hui, étant infirmée par nombre de faits incontestables, il n'y a pas à insister sur cette démonstration. Il n'en est pas de même de celle que donna, sans se baser sur une conception idéale de la nature intime du calorique, et en formulant en même temps les conditions du bon emploi de la chaleur, S. Carnot, ancien élève de l'École polytechnique, dans un opuscule très-remarquable publié en 1824. Nous allons résumer les considérations consignées dans cette brochure intitulée : *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, ce qui nous permettra d'établir les meilleurs moyens d'utiliser le travail engendré par la chaleur :

1^o *Le travail est produit, non par une consommation absolue de calorique, mais par le passage de celui-ci d'un corps chaud à un corps froid.* En considérant la machine à vapeur (de Watt, sans détente, la seule qui se construisit à cette époque), il est facile de se rendre

compte que c'est ainsi que la force se produit. En effet, le calorique développé dans le foyer par l'effet de la combustion traverse les parois de la chaudière, et vient donner naissance à de la vapeur en engendrant l'écartement des molécules. La vapeur passe de là dans le cylindre où elle agit, puis dans le condenseur, dont l'eau froide, s'emparant du calorique développé par la combustion, liquéfie la vapeur et produit le vide. Il ne suffit donc pas, pour produire une puissance motrice, d'obtenir de la chaleur, il faut en même temps disposer d'un corps froid. Ainsi la condensation, qui est aussi une cause de travail, n'a lieu que par la présence de l'eau froide, qui sert à condenser la vapeur. On ne peut rejeter celle-ci simplement dans l'atmosphère, comme on le fait dans certaines machines à haute pression, qu'autant que la température extérieure est telle que l'eau y reste à l'état liquide, température nécessairement moindre que celle de la vapeur; autrement il n'y aurait pas d'eau liquide, et, par suite, pas de machines à vapeur de la nature de celles dont nous parlons;

2° Quelle que soit la température propre à un système de corps isolés, il n'y peut évidemment naître aucun mouvement, tant que la température d'une partie du système ne varie pas. Mais si elle vient à changer, nous reconnaissons comme la loi la plus certaine de la physique, la variation du volume des corps, leur dilatation par l'effet de l'élévation de température. C'est ce phénomène si général qui conduit à considérer les corps comme composés de molécules qui tendent à se réunir sous l'action des forces d'attraction moléculaire, et à s'éloigner par l'effet de la chaleur. Pour chaque température donnée correspondant à un état de dilatation déterminé, il s'établit un équilibre entre les forces moléculaires et le calorique.

La dilatation est l'effet nécessaire de la chaleur; tout l'effet du calorique est produit sous cette forme dans les gaz permanents, pour lesquels les forces d'attraction, de molécule à molécule, sont nulles; l'effet du calorique sert en partie à équilibrer les forces d'attraction moléculaires, dans les solides et les liquides, suivant une loi qui est indiquée par les variations des coefficients de dilatation et de chaleur spécifiques des corps.

Pour les solides, lorsque le corps revient à la température primitive, en supposant la rotation complète, les forces de cohésion rendant en traction les forces qui équilibraient en partie l'action de la chaleur, la restriction indiquée par M. Poncelet pour les forces moléculaires, vraie quand on ne considère que partie de cette rotation, paraît inutile.

On peut sûrement établir comme parfaitement évidente cette seconde loi :

Partout où il y a différence de température, il y a production de

force motrice. En effet, tous les corps sont susceptibles de changements de volume, de contractions et de dilatations successives par les alternatives de chaleur et de froid, tous sont capables de vaincre, dans leurs changements de volume, certaines résistances et de développer ainsi une certaine puissance motrice. Le chemin parcouru, la dilatation en raison de la température, et l'effort que le corps échauffé exercerait contre des obstacles qui s'opposeraient à la dilatation, tels sont les deux facteurs du travail mécanique produit par la chaleur communiquée à un corps. Ainsi un corps solide, une barre métallique alternativement chauffée et refroidie, augmente ou diminue de longueur et peut successivement pousser et tirer des résistances placées à ses extrémités. Un liquide alternativement chauffé et refroidi, peut vaincre les obstacles plus ou moins grands opposés à sa dilatation. Un fluide aériforme produira dans les mêmes conditions des mouvements de grande étendue. Tous ces changements supposent des alternatives de chaleur et de froid, c'est-à-dire la disposition d'un corps chaud, qui transmettra la chaleur à un corps froid.

Puisque le passage de la chaleur d'un corps chaud à un corps froid est une source de travail par l'effet de la dilatation qui en résulte, tout passage de chaleur qui ne sera pas accompagné de dilatation utilisée, tout passage direct de la source de chaleur au réfrigérant, diminuera d'autant plus l'utilisation de la partie du *maximum théorique* du travail de la chaleur, et le travail utile n'en sera qu'une fraction d'autant moindre.

On peut donc établir comme base fondamentale du bon emploi de la chaleur, *qu'il ne se fasse dans les corps employés pour réaliser la puissance qu'elle engendre, aucun changement de température qui ne corresponde à un changement utilisé de volume.*

Ceci va devenir très-clair en employant l'action de la chaleur sur un gaz parfait, de telle sorte que toute la puissance de la chaleur soit évidemment utilisée.

Soit A une source de chaleur, un corps toujours maintenu à une température T, comme la chaudière d'une machine à vapeur; B, un corps maintenu toujours à une température T' moindre que T; *abcd* un cylindre renfermant un gaz, et fermé à la partie supérieure par un piston mobile. On sait que si on comprime ce gaz, la température de ce gaz s'élève; si, au contraire, on le dilate, la température s'abaisse. Quelles que soient les lois suivant lesquelles s'opère ce phénomène, on pourra, à l'aide de compressions et de dilatations, faire varier la température d'un gaz, comme on en fait varier la pression pour un volume fixe, en variant la température.

Cela posé, figurons-nous la suite des opérations qui vont être décrites :

1° Contact du corps A avec le gaz supposé à la température du corps B, avec la paroi de capacité $abcd$, que nous supposons transmettre facilement le calorique. Le gaz prend la température du corps A ;

2° Le piston s'élève graduellement et vient prendre la position ef . Le contact a toujours lieu entre le corps A et le gaz, qui se trouve ainsi maintenu à une température constante pendant la raréfaction. Le corps A fournit le calorique nécessaire pour maintenir la constance de la température ;

3° Le corps A est éloigné et le gaz ne se trouve plus en contact avec aucun corps capable de lui fournir du calorique ; le piston continue cependant à se mouvoir, et passe de la position ef à la position gh . Le gaz se raréfie sans recevoir de calorique, et sa température s'abaisse. Imaginons que cette augmentation de volume soit suffisante pour que la température du gaz devienne égale à celle du corps B ; à ce moment le piston s'arrête et occupe la position gh ;

4° Le gaz est mis en contact avec le corps B ; le piston est, par la moindre compression, ramené de la position gh à la position cd , et reste cependant à une température constante, à cause de son contact avec le corps B, auquel il cède son calorique ;

5° Le corps B est écarté, et l'on comprime le gaz, qui se trouve alors isolé ; sa température s'élève. La compression est continuée jusqu'à ce qu'il ait pris la température du corps A. Le piston passe alors de la position cd à la position ik ;

6° Le gaz est remis en contact avec le corps A ; le piston retourne de la position ik à la position ef ; la température demeure invariable ;

7° La période décrite sous le n° 3 se renouvelle, puis successivement les périodes 4, 5, 6, — 3, 4, 5, 6, et ainsi de suite.

Dans ces diverses opérations, le piston éprouve un effort plus ou moins grand du gaz renfermé dans le cylindre ; la force élastique de ce gaz varie sans qu'il y ait jamais contact entre des corps de température différente, tant à cause des changements de volume que des changements de température ; mais l'on doit remarquer qu'à volume égal, c'est-à-dire pour des positions semblables du piston, la température se trouve plus élevée pendant les mouvements de dilatation que pendant les mouvements de compression. Pendant les premiers, la force élastique du gaz est donc plus grande, et, par conséquent, la quantité de travail produit par les mouvements de dilatation est plus considérable que celle consommée pour produire les mouvements de compression. Ainsi l'on obtiendra un excédant de puissance motrice dont on pourra disposer pour des usages quelconques. Un gaz nous a donc servi à constituer une machine à feu ; nous l'avons même employé de la manière la plus avantageuse possible, parfaite théoriquement, car il ne s'est fait aucun rétablissement inutile d'équilibre dans le calorique.

Toutes les opérations ci-dessus décrites peuvent être exécutées dans un sens et un ordre inverses.

Imaginons qu'après la sixième période, c'est-à-dire le piston étant arrivé à la position ef , on le fasse revenir à la position ik , et qu'en même temps on maintienne le gaz en contact avec le corps A, le calorique fourni par ce corps, pendant la sixième période retournera à sa source, c'est-à-dire au corps A, et les choses se trouveront dans l'état où elles étaient à la fin de la période cinquième. Si, maintenant, on écarte le corps A, et que l'on fasse mouvoir le piston de ik en cd , la température de l'air décroîtra d'autant de degrés qu'elle s'est accrue pendant la période cinquième, et deviendra celle du corps B. L'on peut continuer une série d'opérations inverses de celles que nous avons d'abord décrites, c'est-à-dire porter le piston en gh , le gaz étant en contact avec B, etc. Il suffit de se placer dans les mêmes circonstances, et d'exécuter dans chaque période, un mouvement de dilatation, au lieu d'un mouvement de compression, et réciproquement.

Le résultat des premières opérations avait été la production d'une certaine quantité de travail et le transport du calorique du corps A au corps B, du corps le plus chaud au corps le plus froid; le résultat des opérations inverses (pendant lesquelles les pressions résistantes sont les mêmes que les pressions motrices dans les premières) est la consommation du travail produit et le retour du calorique du corps B au corps A, du corps le plus froid au corps le plus chaud; de sorte que ces deux séries d'opérations s'annulent, se neutralisent en quelque sorte l'une l'autre.

Nous pouvons maintenant nous poser la question suivante :

3° *La puissance motrice d'une même quantité de chaleur est-elle constante, ou varie-t-elle avec l'excipient employé pour l'utiliser?* On peut démontrer qu'elle est constante. En effet, la quantité de chaleur qui produit la dilatation d'un corps, produisant une certaine quantité de travail (nous supposons nulle, pour cette démonstration, l'action moléculaire, qui, comme nous l'avons dit, cause une consommation de chaleur que restitue le refroidissement; nous supposons des actions ramenant le corps à l'état initial, ou, pour plus de simplicité, qu'on agit sur un gaz parfait), cette même quantité de travail exercée en sens inverse, pour comprimer le corps, devra à son tour produire le dégagement de la quantité de la chaleur qui l'a produit, et qui a fait prendre aux molécules les positions d'écartement qu'on fait cesser par une action mécanique.

Si donc, pour une même quantité de chaleur, un corps A donnait un travail mécanique supérieur à tout autre B, par une série d'opérations analogue à celle que nous avons décrite, l'emploi de ce travail mécanique produit par le corps A, employé à comprimer cet autre corps B,

devrait fournir une quantité de chaleur supérieure à celle qui a produit le travail initial, et capable par suite d'engendrer, en étant communiquée au premier corps A, une quantité de travail supérieure à celle qu'a exigée la compression. Cela reviendrait à engendrer, en répétant la même opération, une source indéfinie de chaleur et de force par l'utilisation des excédants successifs de semblables opérations, sans aucune consommation d'aucun agent ; à produire un *mouvement perpétuel*, ce qui ne saurait être admis, un effet sans cause, ce qui est absurde. On ne doit pas chercher à faire varier l'excipient, dans l'espoir d'un bénéfice de travail, mais chercher seulement à utiliser le mieux possible le travail du calorique.

On doit donc poser comme loi générale :

La puissance motrice de la chaleur est indépendante des agents mis en œuvre pour la réaliser, et a un *maximum théorique pour l'unité de chaleur*.

Mais de même que la puissance théorique d'une chute d'eau ne peut être réalisée pratiquement, de même la puissance théorique de la chaleur ne peut être communiquée entièrement à un récepteur ; on en approchera d'autant plus que l'on disposera le récepteur de telle manière qu'il ne s'y fasse aucun changement de température, qui ne corresponde à un changement de volume *utilisé*, ou, ce qui est la même chose autrement exprimée, qu'il n'y ait jamais de contact entre des corps de températures sensiblement différentes.

Ce résumé de la théorie de Carnot suffit pour en faire apprécier toute l'importance. Elle déterminait d'une part les conditions essentielles du bon emploi de la chaleur, et en limitant, d'autre part, le champ des progrès possibles, elle écartait de la recherche de résultats chimériques.

Théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur.

La théorie de Carnot était insuffisante pour expliquer les phénomènes de la détente, le grand perfectionnement des machines à vapeur.

Il faut pour cela déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur et relier les différents coefficients obtenus, qui résultent de la nature intime d'un même corps.

M. Poncelet déduisait le principe du bon emploi de la chaleur, de la conception du calorique comme un fluide parfaitement élastique, sans inertie et sans pesanteur, Humphy Davy, en frottant deux morceaux de glace l'un contre l'autre, les a fait fondre ; le calorique n'est

donc pas un fluide élastique particulier, et la chaleur consiste en un certain mouvement des corps.

M. J. N. Mayer d'Helbroon, savant physicien allemand, en a fait sortir la théorie mécanique de la chaleur.

Puisque le frottement anéantit ce travail et fait apparaître la chaleur, il y a donc *transformation* de l'un dans l'autre, point d'effet sans cause : il appelle *équivalent mécanique de la chaleur* le travail mécanique correspondant à la transformation d'une calorie, et en fixa dès 1842 le chiffre à 365 unités, c'est-à-dire il dit que le maximum théorique de travail d'une calorie était de 365 kilogrammètres.

Le frottement n'est pas le seul moyen mécanique de produire de la chaleur, les compressions et les désagréments, qui font varier les éléments moléculaires, en produisent aussi.

M. Joule, physicien, a eu recours à la compression des gaz pour contrôler cette théorie : deux récipients égaux ont été mis dans un même calorimètre ; le vide a été fait dans l'un, de l'air a été refoulé à 2 atmosphères dans l'autre, et un tube à robinet a permis de les faire communiquer.

Or, en ouvrant le robinet, la température s'est abaissée dans le premier récipient et s'est élevée dans l'autre, avec une compensation exacte.

Quoique M. Hirn dise qu'il y a ici égalité complète entre le travail produit et le travail détruit, et par conséquent entre le calorique dégagé et le calorique absorbé, M. Laboulaye fait remarquer avec raison, que l'expérience de Joule prouve seulement ceci : l'envoi de l'air comprimé dans de l'air raréfié, surtout par un conduit étroit, dégage une quantité considérable de chaleur, due au travail accumulé dans le gaz comprimé.

MM. Joule et Thompson ont même constaté que, dans de certaines conditions, il y avait un refroidissement de 0°,25 pour l'air et de 4°,44 pour l'acide carbonique, qui se liquéfie si facilement.

En somme, le travail de M. Joule confirme les idées de M. Mayer, et ne prouve pas du tout que le gaz comprimé, qui renferme une quantité de travail accumulé et qui a dégagé de la chaleur, renferme la même quantité de chaleur que ce gaz après une détente considérable, pendant laquelle il en a absorbé.

Ce n'est que par une rotation complète et en ramenant le corps sur lequel on opère à son état initial, qu'on peut être sûr de comparer des quantités correspondantes de chaleur et de travail.

La notion de transformation de chaleur en travail, loin d'infirmes les déductions de Carnot, les complète, et ces principes sont la conséquence forcée du principe de l'équivalence des transformations du

travail de la chaleur ; ces déductions dépendent des rapports entre la chaleur et les pressions, et non pas de ce que devient la chaleur, qu'elle soit sensible ou latente.

C'est ce qu'explique très-clairement M. Grove dans son ouvrage de *la corrélation des forces physiques*. « On ne peut pas, en changeant le mode d'application mécanique de la chaleur ou la matière, par l'intermédiaire de laquelle on la fait agir, faire produire à une source donnée plus de chaleur qu'elle n'en possède originellement ; or, en admettant que la chaleur est convertie tout entière en puissance mécanique, s'il pouvait y avoir un surplus de puissance, ce surplus de puissance étant converti à son tour en surplus de chaleur, il y aurait création de force. Par une raison analogue, il n'y aurait pas non plus de déficit de puissance, parce que ce déficit correspondrait à un anéantissement de force. »

Ce raisonnement prouve bien l'impossibilité d'une création de force avec rien, c'est-à-dire du mouvement perpétuel, mais ne fait pas apprécier les conséquences importantes que Carnot avait déduites du principe fondant. M. Laboulaye les analyse par le raisonnement et le calcul, en prenant le tracé graphique proposé par M. Clapeyron, pour représenter successivement les phénomènes qui ont lieu quand on diminue le volume d'un gaz contenu dans une enveloppe, ou quand on le comprime, en ajoutant ou en enlevant de la chaleur à ce gaz, et il prouve, contrairement à ce que disait Carnot, que quand un gaz se comprime et se dilate en contact avec une source de chaleur, il n'y a pas transmission de chaleur ; il y a là, au contraire, consommation de chaleur et une portion de chaleur disparue, ce qui n'altère en rien les conséquences fondamentales, que le travail de la chaleur a un maximum théorique, et que, pour réaliser ce maximum, il ne faut jamais mettre en contact des corps à des températures différentes.

Ainsi, grâce aux recherches de S. Carnot, de Mayer et de Joule, la théorie de la puissance mécanique de la chaleur doit reposer sur ces deux propositions fondamentales :

1^o Proposition de Carnot. *On obtient tout le travail mécanique que peut produire la chaleur, si celle-ci est entièrement employée à produire des changements de volumes, ou, ce qui est la même chose, si on ne met pas en contact des corps de températures différentes. Ce maximum théorique appartient à la chaleur seule et est indépendant de la nature du corps chauffé.*

2^o Proposition de Mayer et Joule. *Le travail mécanique peut se transformer en chaleur, et inversement la chaleur en travail mécanique. Cette transformation s'opère dans un rapport fixé par l'équi-*

valent mécanique de la chaleur ; l'équivalent mécanique appelé ci-dessus maximum théorique, est pour une calorie un certain nombre E de kilogrammètres, que peut produire *cette calorie*, et réciproquement un certain nombre E de kilogrammètres peut théoriquement produire une calorie.

La détermination de E est donc d'une grande importance, et comme question de théorie et comme question d'application, pour permettre d'apprécier la valeur des machines à vapeur, actuelles et pour montrer la voie où l'on pourra faire mieux.

Il n'est donc pas vrai qu'après les longues détente on puisse retrouver toute la chaleur qui a été introduite dans la vapeur à sa sortie de la chaudière ; une partie, assez faible encore aujourd'hui, a disparu et a été convertie en travail mécanique, ce qui permet encore des emplois beaucoup plus complets de cette puissance mécanique.

Mais, en théorie, l'absurdité de l'emploi complet de la chaleur, ou de l'emploi répété de la même quantité de chaleur, est un fait acquis et qui doit arrêter tant de ruineux essais, faits dans cette voie.

Détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur par la mesure du travail engendré par une calorie.

Il y a lieu d'abord à calculer cet équivalent sous les différentes formes que prend la matière et avec les données expérimentales connues ; des expériences nouvelles ont été faites aussi par l'auteur.

L'équivalent mécanique correspond à tout le travail de la chaleur, à la totalité des actions, tant *intérieures qu'extérieures*, qu'elle produit sur les corps. Les actions intérieures sont celles qui sont en partie équilibrées par les actions que les molécules des corps exercent les unes sur les autres, et il résulte nécessairement de leur nature que, si un corps, en partant d'un certain état initial et en parcourant une certaine série de modifications, revient à son état primitif, les quantités de travail intérieur, correspondant aux forces moléculaires équilibrées par la chaleur, sont entièrement restituées dans leur état primitif par la réapparition de celle-ci.

Dans les solides, les molécules étant réunies par des forces attractives que révèle leur cohésion, leur résistance à la rupture, l'action de la chaleur qui dilate les solides est de diminuer, de balancer l'action de ces forces. La presque totalité du travail de la chaleur se passe en actions intérieures, et, par le refroidissement, les forces attractives reparaisant, pourraient communiquer le travail produit par la chaleur. On pourrait, si les mouvements moléculaires étaient limités par

des obstacles ou même par l'emploi de systèmes faisant naître une traction lors du refroidissement, obtenir quelques actions extérieures utiles, et combiner des machines d'une exécution dont la possibilité pratique est douteuse.

Les actions extérieures sont celles qui ne s'annulent pas par des actions moléculaires de sens contraire. Ainsi, les gaz étant formés de molécules qui se repoussent mutuellement, l'effet de la chaleur ne pourra être que d'accroître cette répulsion lorsque la température augmente; aussi le refroidissement ne pourra faire naître des actions inverses. Dans ce cas, le travail de la chaleur ne donnera lieu qu'à des actions extérieures facilement utilisables qui correspondront à toute la chaleur employée, et celles-ci entraîneront à des consommations de la totalité de la chaleur, sous forme de travail mécanique, si on poursuit l'action de manière à produire une dilatation suffisante.

Dans les liquides, les deux circonstances ci-dessus se trouvent réunies. La chaleur ne rencontrant que des forces attractives équilibrées par des forces répulsives, communique aux molécules liquides un accroissement de force répulsive qui les réduit en vapeur. C'est là la différence qui existe entre de l'eau à 100° et de la vapeur d'eau à 100°, et qui correspond à une grande quantité de chaleur, sans changement de pression ni de température. Bien que, par suite de l'accroissement de volume qui en résulte, le travail produit puisse être considérable, la vapeur (considérée seulement dans le cylindre et indépendamment de l'effet de détente qui l'a fait arriver de la chaudière) conserve après le travail, la chaleur déterminée par les expériences de M. Regnault, par la condensation qui ramène l'eau à l'état primitif, comme le solide après son refroidissement. Au contraire, la vapeur une fois formée se comporte comme un gaz, et toute la chaleur qui lui est incorporée agit extérieurement, et peut disparaître par suite en produisant un travail. Si, par la détente, on fait refroidir la vapeur, celle-ci agit comme source de chaleur pour la partie non condensée, et toute la chaleur qui lui a été communiquée peut être consommée par un travail extérieur, peut disparaître après avoir été dégagée d'abord, par le retour de la vapeur à l'état primitif.

Tout ceci va devenir plus clair par la suite; mais on doit déjà entrevoir les ressources importantes fournies par les principes ci-dessus à la théorie de la machine à vapeur.

Pour bien préciser les notions qui précèdent et qui, à cause de leur nouveauté, sont assez délicates, nous y reviendrons encore en quelques mots.

La propriété reconnue plus haut aux actions intérieures fournit le moyen de distinguer les actions intérieures des actions extérieures, dans

les circonstances où il pourrait y avoir doute. Une action est intérieure lorsque le refroidissement produit un effet inverse de celui engendré par l'échauffement; l'action est extérieure lorsqu'il n'en est pas ainsi. En examinant les deux cas les plus saillants, nous dirons :

L'action du passage de la chaleur à travers un gaz permanent, est en totalité extérieure; car, lorsque celui-ci se refroidit, il n'éprouve par lui-même aucun changement de volume; il remplit toujours tout l'espace dans lequel il est renfermé. Il n'y a pas d'effet moléculaire inverse de celui produit par la chaleur.

L'action du passage de la chaleur à travers un solide est de sa nature presque en totalité intérieure; car, par le refroidissement, il se fait une contraction précisément égale à la dilatation qu'avait produite l'échauffement, et l'écartement moléculaire ayant consommé de la chaleur, le rapprochement moléculaire, source d'actions énergiques, la restitue.

Mesure du travail mécanique produit par l'action de la chaleur sur des gaz permanents.

C'est une des déterminations qui offre le plus de certitude.

M. Laboulaye détermine le travail produit par un kilogramme d'air chauffé.

Et en se servant des expériences de M. Regnault sur la quantité de chaleur nécessaire à l'échauffement de 1 kilogr. d'air, et comme résultat définitif, en calculant le travail produit par une calorie pour chauffer de l'air, il trouve :

$E = 425$ kilogr. et $E = 432$ kilogrammètres, qui sont certainement des valeurs très-rapprochées de la vérité.

Mesure du travail mécanique produit par l'action de la chaleur sur les solides.

Les solides paraissent être aussi dans de très-bonnes conditions pour la détermination de l'équivalent mécanique, l'action de la chaleur étant presque exclusivement intérieure, tandis que celle des gaz est extérieure.

M. Laboulaye cite les résultats obtenus par M. Molard pour faire rentrer les murs d'une salle de rez-de-chaussée du Conservatoire des arts et métiers, en chauffant des tirants en fer, expériences dans lesquelles la chaleur est transformée directement en travail mécanique.

M. Laboulaye fait d'abord remarquer qu'au point de fusion des solides où la température ne change pas, malgré la grande quantité de

chaleur latente qu'on y ajoute pour obtenir la fusion, et puisque la température ne change pas, tout le travail de la chaleur est donc utilisé, et les quantités de chaleur bien connues, nommée chaleur latente, produisent le travail de séparation des molécules qui adhéraient fortement ensemble.

M. Laboulaye indique une vérification importante trouvée par M. Person, du principe de M. Carnot, sur l'équivalence théorique des divers corps pour servir d'excipients de la chaleur.

Quand on chauffe un corps solide jusqu'à son point de fusion, il y a une température où toute la quantité de chaleur qu'on y verse n'élève en rien la température sensible du corps et disparaît sous forme de chaleur latente, quantité qui se détermine facilement, puisque la température ne change pas.

Si le principe de la chaleur est vrai, le même travail sera produit pour chaque métal, par une même quantité de chaleur de fusion, et le rapport du travail produit par la désunion des molécules, à la chaleur latente nécessaire pour la produire, sera une quantité constante.

C'est, en effet, ce qu'a montré M. Person en comparant entre eux des métaux dont l'état physique était le plus rapproché possible, les métaux coulés entre eux et les métaux forgés entre eux.

Les résultats de ce travail, quoique assez rapprochés, ne sont pas rigoureusement proportionnels, parce que les coefficients d'élasticité ne comparent pas ici des poids égaux, comme pour les chaleurs latentes.

M. Laboulaye détermine ensuite le travail mécanique produit par la *dilatation* des solides, où l'on connaît les efforts et les chemins parcourus.

Voici les résultats auxquels il arrive pour les principaux métaux.

Voyons donc les résultats que donnent les principaux métaux, en employant les valeurs de E déterminées par M. Wertheim, d'après les vibrations :

MÉTALX.	POIDS produisant des allongements permanents. (Wertheim.)	DENSITÉS.	CHALEURS spécifiques. (Regnault.)	DILATATIONS cubiques.	ÉQUIVALENT mécanique de la chaleur.
Plomb coulé.	1993	11,21	0,031	3/351	109
Étain coulé.	4172	7,40	0,056	3/500	132
Zinc.	8734	7,14	0,10	3/340	207
Cuivre.	10519	8,93	0,095	3/582	133
Argent.	7140	10,30	0,057	3/524	149
Or.	5584	18,03	0,032	3/682	112
Platine.	15683	21,20	0,032	3/1167	165
Fer.	18613	7,55	0,1137	3/846	152
Valeur moyenne de E.					144

La moyenne se rapproche d'une manière très-remarquable du chiffre déjà trouvé, malgré la variété des éléments qui entrent dans le calcul, éléments déterminés dans des conditions très-diverses le plus souvent. Les différences sont sensibles seulement pour le platine et le zinc dont les dilatations et les résistances sont très-variables, en raison de l'état moléculaire que modifie l'étirage, le laminage, etc.

Le zinc surtout, pour lequel ces éléments ont des valeurs très-différentes, suivant qu'il a été étiré ou fondu, demande des déterminations précises de ces divers éléments, pour un même mode de préparation, ce qui n'a pas lieu pour les chiffres du tableau ci-dessus.

En laissant donc, avec toute raison, ce métal de côté, la moyenne des autres déterminations comprenant tous les métaux est $E = 136$.

La vérification est donc très-satisfaisante et la relation que le raisonnement nous permet d'établir se trouve ainsi mise hors de doute. Plus simple que celles qui nous ont permis de calculer l'action de la chaleur sur les gaz, elle peut être plus utile. L'équation dans laquelle entrent, avec l'équivalent mécanique de la chaleur, d'autres éléments, offre l'avantage de pouvoir déterminer indirectement un des termes, les autres étant connus.

Travail mécanique produit par la chaleur sur les liquides.

Les liquides se dilatent par la chaleur comme les métaux, mais de quantités bien moindres. Ne connaissant pas les efforts qu'ils peuvent

surmonter par leur dilatation, on ne peut pas les soumettre aux calculs qui ont donné à M. Laboulaye les valeurs qui précèdent, pour l'équivalent mécanique.

Mais quand les liquides se transforment en vapeur par l'action de la chaleur et rendent latentes de grandes quantités de chaleur, il y a là des effets mécaniques que l'on peut mesurer et soumettre au calcul,

Équivalent mécanique déterminé par la vapeur d'eau.

Cette question est d'une haute importance par le rôle qu'elle joue dans la théorie de la machine à vapeur; sans doute la grande série d'expériences que M. Regnault a entreprise pour déterminer l'ensemble des actions de la chaleur, sur les vapeurs des principaux liquides, fournira pour les principales vapeurs les éléments déjà connus pour la vapeur d'eau et permettra de déterminer aussi la valeur du coefficient mécanique.

M. Laboulaye aborde alors la question de cette détermination, en partant des données constatées aujourd'hui par les travaux des physiciens et du refroidissement opéré dans la vapeur par la détente, phénomène indiqué par M. Laboulaye et constaté par M. Hirn du Logelbach, près Colmar : il détermine alors le travail théorique de la vapeur d'eau et le nombre de calories consommées par la détente et la dilatation de la vapeur d'eau, et il arrive au chiffre de 459 kilogrammètres qui représente le travail total de la chaleur employée, tant à produire une action directe par la gazéification qu'au travail de la détente, à raison du retour de la vapeur à l'état d'eau à 400°.

Expériences directes sur les machines à vapeur.

La machine à vapeur est évidemment un moyen expérimental d'obtenir la détermination du travail mécanique de la chaleur, en dehors des données dues aux observations des physiciens et aux calculs théoriques.

Deux méthodes peuvent être essayées : des observations sur une petite machine d'essai, chauffée au gaz et où le travail serait mesuré par le dynamomètre et la quantité de chaleur employée par celle que donnerait l'eau sortie du condenseur; et, d'autre part, des expériences faites en grand sur une grande machine, avec tous les soins qu'un pareil travail exige pour déterminer la quantité de travail mécanique produit par l'unité de chaleur. On reconnaîtrait en même temps si la quantité de chaleur qui sort de la machine diminue proportionnellement au travail produit, ce qui permettrait de déterminer la valeur de

l'équivalent mécanique et prouverait en même temps l'exactitude de la nouvelle théorie, la transformation de la chaleur en travail.

M. Hirn a encore abordé cette seconde série d'expériences et obtenu des résultats qui ont ici une grande importance ; il a opéré avec une machine de Watt à un cylindre, et avec une machine de Woolf à deux cylindres, avec de la vapeur saturée et avec de la vapeur surchauffée jusqu'à 240°.

M. Laboulaye donne le tableau de ces expériences tirées du mémoire de M. Hirn (*Bulletin de la Société de Mulhouse*), nos 138 et 139 (1857), dans les expériences en question, l'eau du condenseur était versée dans des vases jaugés, et quelques observations thermométriques donnaient avec certitude la quantité de chaleur rejetée par le condenseur.

La moyenne des valeurs de l'équivalent mécanique de la vapeur, que fournissent les déterminations de M. Hirn est de 155, auxquelles on doit ajouter 40 kmt. pour l'action directe de la vapeur, afin obtenir tout le travail que peut produire la chaleur pour ramener à 40° l'eau prise à cette température et pour la réduire en vapeur. La valeur $E=465$ est celle qui ressort de ces expériences avec une approximation un peu grossière, mais d'un grand intérêt. Elle est sûrement un peu forte, comme nous l'avons observé plus haut, mais cela n'enlève rien au mérite de l'éminent observateur qui a le premier su reconnaître, dans la pratique de la machine à vapeur, les conséquences de la théorie la plus délicate.

Si l'on prend les valeurs extrêmes des déterminations de M. Hirn, E se trouve varier de $E=125$ à $E=209$.

Chaleur des corps organisés.

Nous terminerons ces déterminations de l'équivalent mécanique du travail de la chaleur, à l'aide du travail produit par celle-ci, par une induction qui nous paraît offrir quelque intérêt.

On sait que la vie, chez l'homme, est entretenue par la respiration, véritable combustion du carbone des substances servant à la nutrition, source de la chaleur du corps humain, et que cette chaleur est en rapport nécessaire avec le travail mécanique que l'homme peut exercer. Il s'agit évidemment ici d'un appareil de combustion infiniment supérieur à ceux que nous pouvons employer dans l'industrie, et ne donnant pas les pertes relativement très-considérables, qu'on ne peut éviter avec nos meilleurs foyers.

Cet aperçu n'a pas échappé à M. Dumas, qui dit (*Statistique chimique des êtres organisés*) : « Pour monter au sommet du mont Blanc, un homme emploie deux journées de douze heures ; pendant ce temps,

il brûle en moyenne 300 grammes de carbone ou l'équivalent d'hydrogène.

» Si une machine à vapeur s'était chargée de l'y porter, elle en aurait brûlé 4,000 ou 4,200 grammes pour faire le même service. Ainsi, comme machine empruntant toute sa force au charbon qu'il brûle, l'homme est un appareil trois ou quatre fois plus parfait que la plus parfaite machine à vapeur.

» Nos ingénieurs ont donc encore beaucoup à faire, et pourtant ces nombres sont bien de nature à prouver qu'il y a communauté de principes entre la machine vivante et l'autre; car si l'on tient compte des pertes inévitables dans les machines à feu, et si soigneusement évitées dans la machine humaine, l'identité du principe de leurs forces respectives ressort manifeste et évidente aux yeux. »

Dans un calorimètre, 4,000 grammes de charbon produisent 7,500 calories; 300 grammes peuvent donc en produire 2,250, qui, multipliées par 140, donnent 315,000 kilogrammètres.

Le mont Blanc a 4,810 mètres, le poids moyen de l'homme est de 65 kilogr., le travail produit par des efforts qui certes ne sont pas ordinaires pour l'y porter, est donc 312,650 kilogrammètres.

L'appareil humain, considéré comme un appareil de combustion parfait, confirme donc pleinement le chiffre auquel je parviens par d'autres voies. On ne saurait admettre un chiffre plus fort et surtout un chiffre double ou triple, sans déclarer, contre toute probabilité, le corps humain une machine très-imparfaite pour convertir la chaleur en travail.

RÉSUMÉ.

Si nous récapitulons les déterminations de l'équivalent mécanique de la chaleur, obtenues en calculant le travail produit par l'application aux corps, dans leurs divers états, de l'unité de chaleur, nous trouvons les résultats suivants, que nous divisons en deux catégories. La première comprend celles qui ont le plus de valeur, qui sont obtenues à l'aide des données expérimentales les plus certaines; la seconde, celles obtenues à l'aide d'éléments mal déterminés, dont on ne peut déduire qu'une approximation.

Valeurs de l'équivalent de la chaleur.

	1 ^{re} catégorie.	2 ^e catégorie.
Gaz,	125	à 132 kil.
Solides,	136	144
Vapeur.	{ Par le calcul,	• 159
	{ Expériences de M. Hirn,	125 209

Nous devons remarquer que la plus importante des déterminations ci-dessus, celle qui se rapporte au travail des gaz simples, si elle résultait d'expériences directes, devrait pécher en moins, par la raison qu'elle répond à des expériences, où la quantité de chaleur serait bien certaine, mais pour laquelle le travail correspondant serait diminué des résistances passives. Une détermination théorique obtenue par un mode d'opérer fictif, quelque peu analogue, doit conserver quelque chose de ce caractère.

Nous allons chercher s'il ne serait pas possible de trouver un autre moyen d'expérimentation dans lequel l'erreur fût en sens inverse, pour la resserrer entre deux limites. Pour le moment, nous concluons de ce qui précède, comme une valeur un peu supérieure à celle de l'équivalent mécanique de la chaleur, le chiffre 440, chiffre obtenu en augmentant assez sensiblement celui résultant des meilleures déterminations théoriques qui serait peu supérieur à 430.

Détermination de l'équivalent par la méthode inverse, ou calcul de la chaleur produite par une quantité de travail donnée.

Quoique la mesure du travail produit par l'unité de chaleur se présente plus naturellement à l'esprit, on peut aussi déterminer l'équivalent par la transformation du travail en chaleur; les calculs précédents, refaits en sens inverse sur les mêmes données physiques, conduiraient évidemment aux mêmes résultats: ce qui est important, c'est de passer en revue les expériences directes faites dans cette voie, qui sont de simples expériences de mécanique, avec leurs résultats interprétés par le thermomètre; c'est ce que fait M. Laboulaye, en étudiant d'abord les expériences faites par les autres et ensuite des expériences nouvelles qui lui sont dues. Il fait remarquer avec raison que, si dans les expériences directes faites dans la première voie, l'équivalent mécanique est trop faible de tous les kilogrammètres qui n'ont pu être notés, dans la seconde on aura des chiffres trop forts, puisqu'on part d'un nombre certain de kilogrammètres et que les observations thermométriques ne peuvent pas donner toute la chaleur dégagée.

Chaleur produite par la compression d'un gaz.

M. Joule a fait, dit-on, des expériences dans cette voie; l'auteur ne les connaît pas et il dit avec raison que ce mode d'expériences ne doit pas donner des résultats exacts, la masse du gaz étant nécessairement très-faible et les appareils à piston, trop grands.

Chaleur produite par un travail mécanique agissant sur un liquide.

Pour déterminer l'équivalent mécanique dans cet ordre de faits, il ne faut pas comprimer les liquides, qui sont presque incompressibles, et avec lesquels l'action d'une pression est nécessairement reportée du point d'application à toutes les enveloppes, comme dans la presse hydraulique.

Il est donc évident que la pression des liquides ne correspondant pas à un travail moléculaire qui puisse se transformer en chaleur, les compressions énergiques des liquides ne conviennent en rien à ces déterminations, encore moins les compressions faibles, pas plus que les simples frottements; ce système correspond, en effet, au cas où la chaleur produite par la compression des molécules, est un minimum, pour une quantité donnée de travail.

D'ailleurs les mouvements imprimés se transmettent aux supports et produisent des vibrations plutôt que de la chaleur, et le nombre obtenu est aussi loin que possible de la vérité.

Expériences de M. Joule. — M. Joule suspend un poids à une corde qui fait tourner en descendant un axe garni d'ailettes plongées dans l'eau; la chute du corps donne la mesure du travail et le mouvement des ailettes dans l'eau dégage de la chaleur, en raison du travail moteur.

M. Joule déduit de cette expérience la valeur de l'équivalent mécanique en kilogrammètres, et il trouve 434.

M. Laboulaye fait remarquer que, de ce qu'il faut ici une grande quantité de travail pour produire une calorie, on ne peut pas en conclure qu'une calorie puisse aussi produire cette grande quantité de travail. Si l'appareil de M. Joule devait servir à monter de l'eau, il faudrait pour avoir un *effet utile* lui appliquer le coefficient de 0,40 ou 0,50, et la transformation du travail en chaleur, doit donner une perte beaucoup plus grande; ce qui prouve, au contraire, que le coefficient mécanique ne dépasse pas 200.

La méthode des coefficients, si utile aux mécaniciens, a été trop négligée par les physiciens. Elle doit tenir compte ici des vibrations, des communications de force vive aux supports et d'autres causes qui absorbent inutilement une grande quantité de travail.

Afin de faire sentir l'influence de l'imperfection des appareils, l'auteur détermine la valeur de l'équivalent mécanique, d'après les expériences de frottements faites devant une commission de l'Académie des sciences, sur l'appareil de MM. Beaumont et Mayer, pour engendrer la chaleur

par le frottement, et il trouve, avec la méthode de calcul de M. Joule :

Kilogrammètres, 550

c'est-à-dire que cette valeur augmenterait avec l'imperfection des appareils.

Comment, d'ailleurs, le travail étant seulement de 25 % plus fort que le travail théorique, l'appareil n'utiliserait-il que 42^e de la chaleur dépensée, dans la machine à vapeur actuelle?

Le chiffre de 440 de M. Laboulaye prouve, au contraire, que la machine à vapeur exige quatre fois moins de combustible, pour donner le résultat théorique, ce qui doit être la vérité.

Expériences de M. Hirn sur les huiles (1). — Dans un travail très-important sur les corps lubrifiants, M. Hirn a mesuré les effets calorifiques produits par le frottement sur les huiles. L'appareil qui lui servait à reconnaître la qualité des huiles du commerce, était un tambour creux, en fonte, parfaitement cylindrique, poli extérieurement, et calé sur un marbre.

Diamètre du tambour,	mèt. 0,23
Longueur,	0,22

Le tambour est fermé à un bout par un fond en fer-blanc, formé d'une partie plane annulaire et d'une partie centrale en tronc de cône ouvert, et qui laisse libre un espace annulaire entre sa circonférence et l'arbre; à l'autre extrémité est un fond de la même disposition que le premier.

Un coussinet en bronze, composé de 8 de cuivre et 4 d'étain, poli, et ajusté sur la demi-circonférence du tambour, reçoit les boules d'un thermomètre.

Un levier en chêne de 0,08 d'équarrissage, qui se place sur le tambour en s'appuyant sur les brides du coussinet, est muni à chaque bout d'un crochet. Un des crochets reçoit une tige assez longue et un contre-poids en plomb; l'autre, un plateau sur lequel se met une masse de plomb, réglée pour faire équilibre au contre-poids; le levier doit être horizontal; et le système ainsi disposé, ne permet pas des oscillations folles, le poids étant beaucoup au-dessous de l'arbre.

Le coussinet, le levier, le poids en plomb et les accessoires pèsent 50 kilogr. Quand le levier est horizontal, la distance horizontale entre l'axe du tambour et la verticale passant par l'axe du plateau est de 0,562; on règle à volonté, ou on accélère la vitesse du tambour, au moyen de cônes et d'une courroie.

(1) *Bulletin de la Société de Mulhouse*, 128 et 129 (1855).

On fait passer, quand on veut, un courant d'eau dans le tambour, au moyen de tuyaux et d'un robinet.

Avec ce système, qui rappelle le frein de Prony, M. Hirn lit directement dans les poids qu'il ajoute sur le plateau, pour ramener le levier à la position horizontale, le travail mécanique utilisé ici en frottements, et les températures dont s'élèvent les liquides qui passent dans le tambour, lui donnent les quantités de chaleur dégagée.

Ces expériences de températures sont évidemment très-déliçates; M. Hirn en a cependant tiré la conclusion qui suit :

« La quantité absolue de chaleur développée par le frottement médiatement est directement et uniquement proportionnelle au travail mécanique du frottement; le rapport entre cette quantité de chaleur exprimée en calories et le travail mécanique du frottement exprimé en kilogrammes élevés à 1 mètre de hauteur, est à peu près égal à 0,0027, quelles que soient la vitesse et la température des corps frottants et la substance lubrifiante; ce rapport ne s'applique qu'au cas où il ne se produit aucune altération dans la matière lubrifiante, soit par le grippage des surfaces, soit par des matières en poudre mêlées dans l'huile, conditions qui augmentent beaucoup les frottements. »

Parmi les nombreuses expériences faites par M. Hirn, celles qui ont eu lieu sur les corps frottants médiatement, avec interposition de matière lubrifiante, sont beaucoup plus régulières et beaucoup plus exactes que les autres.

Les chiffres les plus exacts et les plus réguliers de cette série, correspondent à des poids additionnels peu considérables.

Les expériences faites avec des poids de 40 et de 80 kilogr. donnent pour l'équivalent mécanique une valeur approchée de 425 et de 445 kilogrammètres; les chiffres des tableaux d'expériences de M. Hirn conservent une grande régularité tant qu'il s'agit d'huile, et perdent toute régularité avec les autres liquides et dans les autres conditions de frottements, de sorte que M. Hirn, pour les accorder, est forcé de conclure que l'équivalent mécanique de la chaleur n'est pas un nombre constant; ce qui serait la négation de la loi de Meyer.

En définitive, le mode d'expérimentation par les frottements conduit à une valeur beaucoup trop forte de l'équivalent mécanique avec des liquides interposés.

Le frottement des corps solides entre eux, paraît donner des résultats moins forts que ceux des liquides.

M. Laboulaye a cherché alors une autre route, pour arriver à la détermination expérimentale de l'équivalent mécanique, en transformant en chaleur un travail mécanique facile à mesurer.

Mesure de la chaleur produite par une quantité de travail déterminé, agissant sur un corps solide. Expériences nouvelles.

Les corps solides conviennent parfaitement pour la détermination de l'équivalent calorifique du travail mécanique, parce qu'une action mécanique exercée sur eux peut être dirigée de manière à altérer leur cohésion moléculaire, changer d'une manière définitive l'écartement des molécules, et, par suite, être en totalité transformée en chaleur. C'est la voie nouvelle que j'ai suivie, en employant des actions qui correspondent toujours à un semblable changement d'état moléculaire et donnent instantanément une production notable et inaltérable de chaleur. Je dois indiquer les moyens de réaliser dans la pratique, les conditions fondamentales dont il importe de ne pas s'écarter, pour atteindre le résultat théorique poursuivi.

Je résumerai ainsi ces conditions fondamentales :

- 1° Travail mécanique facilement mesurable, sans incertitude ;
- 2° Emploi d'un travail mécanique déterminé, à rompre des cohésions moléculaires, sans produire de vibrations, en rendant minimum la transmission de travail aux supports ;
- 3° Mesure convenable de l'accroissement de température, et, par suite, du nombre de calories qui correspondent au travail mécanique consommé ;
- 4° Correction pour tenir compte de la force vive transmise au sol.

Nous allons passer en revue la manière dont nous avons satisfait à ces diverses conditions ; puis nous donnerons les chiffres d'une de nos dernières expériences, les mieux affranchies de causes d'erreur.

§ 1. — Travail mécanique facilement mesurable.

Le moyen par excellence, pour obtenir un travail mécanique facilement mesurable, consiste à employer la chute d'un corps. Comme le principal moyen d'éviter les erreurs, dans une nature d'expériences où la quantité de chaleur dégagée est peu considérable, consiste à grandir un peu l'échelle sur laquelle on opère, j'ai cherché à disposer de poids et de chutes notables. Il m'eût été fort difficile de satisfaire à ces conditions sans l'amitié de M. Hervé Mangon, qui a mis à ma disposition les ressources du dépôt du matériel appartenant aux ponts et chaussées, situé quai de Billy. Une sonnette à battre les pieux fut dressée, et me permit de disposer d'un mouton du poids de 440 kilogrammes tombant, au besoin, d'une hauteur de plusieurs mètres. Cet appareil, malheureusement un peu grossier pour des expériences de précision, ne pou-

vait me donner qu'une approximation ; mais je crois que c'est un appareil de cette nature, construit avec le soin convenable, qui est le plus propre aux expériences dont il s'agit. C'est ce que je me propose de vérifier prochainement.

§ 2. — Emploi du travail mécanique à rompre des cohésions moléculaires, sans vibrations sensibles.

En analysant la manière dont la transmission de la chaleur aux corps solides produit un travail mécanique, nous avons montré que c'était par des actions intérieures, en équilibrant momentanément une partie des forces moléculaires, que le travail est produit. Inversement, si un travail est employé à annuler des forces moléculaires, à disjoindre par une action d'écrasement les molécules de ce corps, une quantité de chaleur, correspondant exactement au travail mécanique employé, sera dégagée, et, étant mesurée, elle fournira la valeur exacte de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Pour que cette expérience réussisse, il faut que les molécules du corps soumis à un travail mécanique puissent se disjoindre, par l'effet d'un travail mécanique, d'une manière définitive, en modifiant leur écartement normal dans le corps obtenu par fusion. C'est là le principe nouveau de nos expériences. Ce mode d'action se ramène à l'écrasement d'un corps fondu, et le plomb était naturellement indiqué comme la substance par excellence. Il fallait, en outre, que cet écrasement fût effectué sans vibrations, par un amortissement presque complet des forces vives, et sans que la partie inférieure de la pièce écrasée fût déformée (on verra plus loin pourquoi cela est nécessaire). C'est à quoi je suis parvenu, par une forme convenable du morceau de plomb fondu.

J'ai trouvé grand avantage à remplacer dans ces expériences les formes symétriques, à la partie supérieure et inférieure du corps soumis à l'écrasement, celles de cubes, de cylindres, qui seules avaient été employées jusqu'ici dans les rares expériences faites sur les phénomènes d'écrasement, et qui se déformaient en même temps à la partie inférieure et à la partie supérieure, par des formes qui offrent à la partie supérieure une résistance bien moindre qu'à la partie inférieure.

Avec cette précaution et pour une chute convenable du mouton, l'écrasement étant limité aux parties supérieures, la base n'étant nullement déformée, l'amortissement du choc est complet, une vibration insignifiante est communiquée à l'enclume placée sur le sol, et le travail dû à la chute du mouton est employé, en très-grande partie, en écrasement, en actions moléculaires intérieures.

J'ai adopté la forme d'un cône droit pénétré par un cône renversé,

forme qu'il est facile d'obtenir par fusion et de multiplier de manière à agir sur des pièces identiques ; ce qui permet de vérifier les déformations, d'obtenir des variations certaines d'effet, en faisant varier quelque peu le travail.

Ces morceaux de plomb, dans nos expériences, avaient 16 centimètres de hauteur ; rayon à la base, 6 centimètres ; en haut, 5 ; épaisseur à la base, 12 millimètres ; au sommet, 2 millimètres ; poids, 5 k. 90, en plomb du commerce, pas très-pur.

Je dirai incidemment que les effets d'écrasement de ces pièces m'ont fourni des résultats curieux sur le mode de répartition des pressions ; ce qui m'a suggéré une explication très-satisfaisante (ce qui n'avait pas été fait jusqu'ici à ma connaissance) de la formation des pyramides ou de cônes, lors de l'écrasement de pierres cubiques ou cylindriques. Je donne dans une note ces curieux résultats, un peu étrangers au but que je poursuis ici.

§ 3. — Mesure de l'accroissement de température et par suite du nombre de calories correspondant au travail mécanique consommé.

Pour mesurer l'accroissement de température résultant de l'écrasement du métal, je le place dans un calorimètre en cuivre de 22 centimètres de diamètre et 20 de hauteur, que l'on entoure d'ouate de coton sur une forte épaisseur. J'y verse de l'eau, et place dans cette eau deux thermomètres qui passent au dehors de la cuve. Pour pouvoir faire agir le mouton sur le plomb sans briser les thermomètres, j'emploie un faux pieu, une pièce de bois placée sur lui, avec interposition d'une plaque en fer pour éviter que le bois ne se brise par le choc, ne rencontrant de résistance que sur une partie de sa surface.

Tel est l'appareil qui m'a servi et dont le principal défaut réside dans le peu de conductibilité de l'eau, qui doit se mettre en équilibre de température avec le plomb.

Cet effet est si notable, que les indications du thermomètre n'avaient aucune valeur, lorsqu'on n'agitait pas l'eau du calorimètre ; condition tout à fait essentielle et à laquelle il n'était pas très-facile de satisfaire ici, puisqu'il fallait agiter le liquide immédiatement après le choc.

J'y suis parvenu en mettant en communication avec l'eau une poire de caoutchouc, terminée par un tube de même substance qui vient coiffer une tubulure placée au bas du calorimètre ; de manière qu'en comprimant cette poire, puis la laissant se gonfler, alternativement, je lance l'eau sur le plomb pour le laver, puis j'aspire cette eau ; enfin je mélange intimement toutes les couches liquides.

Le lavage extérieur du plomb était relativement facile ; mais celui à

l'intérieur du cône offrait des difficultés, d'autant plus qu'il ne fallait pas seulement agiter l'eau à l'intérieur, mais encore renverser cette eau à l'extérieur, de manière à ce qu'elle pût agir sur le thermomètre.

A cet effet, j'emploie une deuxième poire épaisse en caoutchouc vulcanisé, disposée comme la précédente, également adaptée à l'aide d'un tube de caoutchouc à un deuxième ajutage soudé à la partie inférieure du calorimètre. Dans l'intérieur de cette poire, je fais entrer un tube en caoutchouc de petit diamètre, moitié environ de celui de l'ajutage ; il est retenu dans la poire par une petite broche qui le traverse. Ce petit tube pénètre à l'intérieur du plomb, en passant par une encoche pratiquée dans son pied, qui, nous l'avons vu, n'est jamais écrasé. A l'aide de ce petit tube, il y a aspiration et envoi de l'eau à l'intérieur du cône en plomb, et comme cette eau se mélange dans la poire avec l'eau aspirée et renvoyée à l'extérieur du cône, le mélange est bientôt intime.

Une expérience à blanc ayant montré que la chaleur produite par ce mouvement de l'eau, correspondant à un travail mécanique insignifiant, était de nulle importance, sûrement bien inférieure aux pertes de chaleur de l'appareil, et que l'équilibre de température était obtenu en une ou deux minutes au plus, j'ai pu opérer en toute sécurité.

On trouvera dans le mémoire les tracés de tout le système et la disposition générale de l'expérience.

Je rapporte ci-après les résultats d'une expérience choisie entre plusieurs concordantes, faite avec l'appareil ainsi complété, et qui, bien qu'un peu grossier, ne pouvant donner des résultats très-précis, doit donner une approximation assez satisfaisante, à cause des proportions assez fortes des éléments de production de la chaleur. J'insisterai particulièrement sur le mode de lavage pour les personnes qui voudront répéter mes expériences ; car ce n'est qu'après être arrivé à cette forme définitive que les résultats de l'expérimentation ont pris une grande netteté (1).

§ 4. — Correction relative à la force vive absorbée par les supports.

La forme adoptée pour les blocs de plomb permet bien d'employer la majeure partie du travail en actions moléculaires produites par le choc, amorti par l'écrasement de la substance malléable ; mais il est clair que la totalité ne pourrait être ainsi utilisée que si cette substance malléable n'opposait absolument aucune résistance à la fin du choc. En effet, pour

(1) J'ai été parfaitement secondé pour l'installation de ces expériences par M. Salleron, jeune constructeur dont la capacité est bien justement appréciée par les physiciens.

le plomb, par exemple, il est évident que la résistance qu'il oppose à l'écrasement se communique au support inférieur, et que si le choc ne produisait qu'une pression insuffisante pour l'écraser, le plomb résisterait, comme la matière la plus dure, et communiquerait toute la force vive du choc à l'enclume.

Comment évaluer la force vive ainsi communiquée et le travail qu'il faut déduire du travail total, afin de conserver seulement celui qui produit l'écrasement, la désunion des molécules réunies lors du refroidissement du métal, le seul qui produit les effets calorifiques que nous cherchons à mesurer? Il est assez difficile de le faire avec une très-grande exactitude, mais il est facile d'obtenir des chiffres inférieurs à sa valeur réelle, et par suite permettant d'opérer, en partie au moins, cette importante correction.

Au commencement du choc, l'écrasement du plomb qui ne présente qu'une faible surface supérieure, amortit successivement partie de la force vive du mouton, bien supérieure à la résistance du plomb pour ces dimensions; mais à la fin du choc, la surface du plomb qui le reçoit s'étant accrue, la force vive qui subsiste devient insuffisante pour continuer l'écrasement; autrement dit, le travail nécessaire pour cela est un peu supérieur à celui correspondant à la force vive qui va s'amortir par les vibrations du support inférieur et les communications au sol.

La voie expérimentale peut permettre de déterminer ce point et donner la valeur de la correction à faire. En effet, soumettons le bloc de plomb écrasé à de très-faibles chutes du mouton, il n'éprouvera aucune action, et le métal résistera facilement. En faisant croître cette chute, on arrivera à déterminer directement ou par interpolation, avec assez d'exactitude par un nombre suffisant d'expériences, le point où commence l'écrasement.

En soustrayant la quantité de travail pour cette chute, du travail total correspondant à la chute totale du mouton, on a bien le travail qui a produit l'écrasement, les ruptures moléculaires, source de la chaleur.

Malheureusement, dans la sonnette à battre les pieux que j'ai employée, le mouton n'étant pas guidé de manière à tomber toujours parallèlement, ne permet pas de faire bien convenablement cette correction. Le plomb étant attaqué obliquement par une partie variable de la surface supérieure, il se produit de petits écrasements partiels qui empêchent de faire une observation bien exacte. Pour ce point comme pour un chiffre plus approché de l'équivalent mécanique, il nous faudra construire un appareil moins puissant, mais plus précis que celui que nous avons employé.

Quelques expériences nous ont indiqué une autre voie pour déterminer cette correction en raison de la surface qui reçoit le choc. Nous

avons reconnu que 0,35 km. étant, d'après M. Ardant, la résistance vive d'un millimètre carré de rupture, pour un fil plomb d'un mètre de long, celle-ci ne peut descendre au-dessous de 0,07 km. pour un fil très-court, de 0,01 par exemple. Prenant la valeur de 0,06 km. pour la résistance de la rupture à l'écrasement (toujours plus grande que la rupture par traction) d'une section d'un millimètre, nous trouvons, en mesurant la surface supérieure du plomb écrasé, une valeur de la correction dont il s'agit ici, double de celle que nous avons admise dans l'expérience ci-après, ce qui nous paraît prouver qu'elle est loin d'être trop forte.

§ 5. — Expériences.

Voici les chiffres d'une de nos expériences les plus nettes, choisie parmi plusieurs concordantes :

	Le calorimètre contenait :	Chaleur spécifique.	Quantité de chaleur qui correspond à l'échauffem. de 1°.
Plomb,	5,935	0,0314	0,19
Eau,	2	1	2
Laiton du calorimètre,	0,725	0,09	0,06
Plaque en fer posée sur le plomb,	0,720	0,114	0,08
			<hr/> 2,33
Poids du mouton,	kil. 440	} Travail,	kmt. 459,8
Chute,	1,045		
Indications du thermomètre avant la chute,		11° 4/5	} Gain, 4/5
Id. id. après la chute,		12° 3/5	
Quantité de chaleur pour 4/5 de		1° = 2,33 × 4/5 = cal.	1,86
Équivalent (sans correction), 459,8 :		1,86 = E =	247

Nous avons cru reconnaître clairement que le mouton ne produit d'écrasement qu'à des chutes supérieures à 0,26 ; ne produit donc aucun écrasement pour chute de 0,245. Le véritable travail produisant de la chaleur, n'est donc que $440 \times 0,80 = 352$, et le véritable équivalent fourni par l'expérience est $352 : 1,86 = E = 189$.

Ainsi la production d'une calorie pour moins de 250 kilogrammètres, voici ce que le thermomètre montre, ce qui infirme sans contestation possible le chiffre de M. Joule, abstraction faite de toute correction. En tenant compte de la plus importante qu'il y ait à faire, $E = 190$ est une valeur supérieure à l'équivalent mécanique de la chaleur, d'une quantité sûrement notable, à cause de la rusticité de l'appareil servant à produire le choc, dont les résistances qui naissent pendant la chute du

mouton sont négligées, et à cause aussi de la difficulté d'observer, sans pertes sensibles, des différences de température peu considérables.

RÉSUMÉ.

Si nous résumons les résultats obtenus par cette seconde voie, en déterminant la chaleur produite par un travail donné, ce qui fournit une limite supérieure, puisqu'on ne peut jamais enregistrer la totalité absolue de la chaleur dégagée, nous pourrions tracer le tableau suivant :

Gaz. — Pas d'expériences connues en détail.

Liquides. — Frottement avec interposition de liquides ou entre les molécules de ceux-ci, valeurs de E : Joule, 430; — Beaumont et Mayer, 550; — Hirn, 360 à 430.

Solides. — Expériences d'écrasement, 189.

Il est bien évident qu'à moins de nier complètement la théorie de l'équivalent de la chaleur, il faut admettre les chiffres les plus faibles comme ayant seuls de la valeur; les plus forts correspondant à des expériences tout à fait grossières, soit quant aux mesures, soit surtout parce que le travail s'est dispersé sans produire d'effet calorifique mesurable dans l'appareil.

Conclusions.

Rien de plus facile maintenant que de tirer les conclusions qui ressortent de tous les chiffres précédents, et d'en déduire une valeur bien approchée de l'équivalent mécanique de la chaleur. Nous avons passé en revue tous les moyens qui peuvent permettre de le déterminer, ne laissant de côté que des expériences nouvelles qui nous sont peu connues et à l'aide desquelles on prétend déduire cette valeur de la chaleur dégagée des combinaisons chimiques, de la théorie de la pile ou de l'électro-magnétisme, c'est-à-dire des moyens se rattachant à des théories plus obscures encore dans l'état actuel de la science, que celle qu'il s'agit d'éclaircir.

Dans une première voie, nous avons trouvé que des déterminations fondées sur les chiffres les plus certains de la physique, nous menaient à des valeurs de l'équivalent mécanique de la chaleur, variant de 425 à 436, les déterminations qui méritent le plus de confiance ne dépassant pas le nombre 430.

Par une route inverse et des expériences faites avec des appareils un

peu grossiers, nous avons trouvé des valeurs voisines de 180, sûrement trop fortes, et même d'une quantité notable. Nous sommes donc fondé à prendre, pour l'équivalent mécanique de la chaleur, un chiffre compris entre ces deux limites inférieure et supérieure, non pas la moyenne arithmétique $\frac{125 + 180}{2} = 152,5$, mais un nombre plus rapproché de

la première que de la seconde. Nous devons considérer $E = 140$ comme très-rapproché de la valeur exacte. C'est admettre un coefficient de 80 % pour notre expérience mécanique qui est probablement très-exact.

Ainsi donc, en résumé, le chiffre 430, introduit dans la science par M. Joule, doit être rejeté et remplacé par le chiffre 140. Il n'y a pas à discuter pour prouver que le chiffre 430 est possible, lorsque le thermomètre marque une calorie produite par un travail de 240 kilogrammètres, sans enregistrer la totalité de la chaleur produite et en tenant compte de quantités de travail qui ne produisent sûrement pas de chaleur. Des déterminations très-précises, des vérifications indirectes pourront sans doute montrer que la valeur de E que nous adoptons, variera de quelques unités, en plus probablement, et devra peut-être être portée à 145 ; mais il est, dès aujourd'hui, bien certain que ces modifications seront de peu d'importance.

Il n'en est pas de même, comme chacun sait, de la détermination à laquelle nous serions heureux d'attacher notre nom ; car il s'agit de tirer parti d'une des lois les plus importantes de la physique, ce qui ne peut avoir lieu utilement, qu'autant que la valeur admise est exacte ; une valeur erronée étant, au contraire, une source d'erreurs, faisant éclore une foule d'applications qui ne peuvent réussir, comme l'expérience l'a déjà démontré surabondamment.

La loi de la transformation de la chaleur en travail, et réciproquement, la conversion d'un des phénomènes dans l'autre, par le jeu des forces moléculaires, paraît une des plus générales, et c'est sûrement une des plus importantes auxquelles l'esprit humain se soit élevé. Nous vivons au milieu de phénomènes continuellement manifestés à nos yeux, tantôt par la chaleur, tantôt par le mouvement. C'est donc une découverte d'une grande fécondité que de montrer que ces phénomènes sont, sous des apparences diverses, des effets produits par une même cause, et d'obtenir la mesure, et, par suite, la possibilité de suivre les résultats de leurs métamorphoses.

Parmi les applications nombreuses de ces résultats aux sciences physiques, il faut surtout citer celle qui s'en fait directement à la machine à vapeur. La loi de la production du travail, à l'aide de la chaleur, réalisée dans l'industrie, directement par la machine à vapeur (car indirectement on retrouve toujours la chaleur comme source de tout travail),

est renfermée presque tout entière dans la détermination de l'équivalent mécanique. En permettant de comparer les résultats obtenus de tout système, de toute combinaison, à un maximum théorique parfaitement déterminé, on peut évaluer exactement le mérite de chacun d'eux ; on peut étudier les moyens de les perfectionner, et, grâce à ce point fixe, ne pas s'égarer dans les routes, en nombre infini, qui conduisent vers des résultats chimériques.

Tout ceci prouve surabondamment, ce nous semble, *l'utilité et l'importance* des recherches dont nous terminons l'exposé, et qui, complétant les lois de Carnot et de Mayer, données plus haut, forment un ensemble comprenant toutes les règles qui peuvent servir à l'établissement de tout genre de machines à feu, à l'étude des phénomènes calorifiques et mécaniques dans leurs rapports mutuels.

NOTE N° 8.

Appareil fumivore de M. Wie Williams.

L'un des appareils fumivores qui sont le plus souvent employés en Angleterre est celui de M. Wie Williams, qui a été l'objet d'expériences faites par M. Combes, à la Manufacture de tabacs de Paris, lors de son grand travail sur la question de la fumée, travail que nous avons analysé tome I^{er}, page 452.

L'inventeur de cet appareil, membre de la Société des ingénieurs civils de Londres, a rédigé un ouvrage très-intéressant intitulé : *Considérations chimiques et pratiques sur la combustion du charbon et les moyens de prévenir la fumée*, ouvrage qui a été traduit en français par M. de Bona Christave, lieutenant de vaisseau (1).

M. de Christave ne s'est pas contenté de traduire cet ouvrage, il l'a fait précéder d'une remarquable Introduction, où se trouve l'analyse complète de l'ouvrage et les principes théoriques et pratiques de la combustion ; la science les a précisés comme les expose l'ouvrage dont nous parlons.

L'appareil fumivore auquel l'auteur est arrivé après de longs essais, et que nous donnons *pl. 44, fig. 422 bis*, consiste dans l'introduction d'une quantité convenable d'air atmosphérique par les murs et derrière l'autel des fourneaux, et à travers les couches de flamme. Cet air est versé dans le carneau inférieur, par un grand nombre de *petits orifices*, communiquant à un canal ou tuyau commun dont la section peut être agrandie ou diminuée par une valve extérieure, nécessaire, suivant les circonstances, pour avoir une combustion complète.

La direction de l'air en petits jets, dans les gaz hydrocarbonés qui sont à moitié brûlés, au-dessus des feux et dans le premier carneau, permet d'obtenir leur parfaite oxygénation, une combustion complète de la fumée et un plus grand effet calorifique du combustible.

M. Christave donne, dans son Introduction, les résultats obtenus par l'application des boîtes à air de M. Williams, qui ont présenté sur des steamers une économie de combustible et une plus grande vitesse de marche.

(1) 1858, chez Lacroix et Baudry.

FIN.

LÉGENDE DES PLANCHES.

PLANCHE PREMIÈRE.

FIG. 1^{re}. Machine de 45 chevaux à deux cylindres, construite par MM. Windsor et C^{ie}, de Rouen, pour l'établissement hydraulique de Nantes et la Compagnie générale des eaux de France. Élévation générale de la machine, des pompes, des réservoirs d'air, et du système des tuyaux d'aspiration et de refoulement.

PLANCHE DEUXIÈME.

FIG. 2. Même machine. Plan général des deux machines et de l'établissement hydraulique de Nantes.

PLANCHE TROISIÈME.

FIG. 3. Même machine. Coupe transversale.

PLANCHE QUATRIÈME.

FIG. 4. Coupe verticale sur le petit cylindre et la petite boîte, détente variable en élévation.

FIG. 5. Coupe verticale du grand cylindre et de la grande boîte.

FIG. 6. Élévation des deux cylindres et de la distribution.

FIG. 7 et 7 bis. Plan et coupe du piston à une grande échelle.

PLANCHE CINQUIÈME.

FIG. 8. Machine horizontale de 50 chevaux, à condensation et à détente variable, par le régulateur, de M. Farcot. Élévation générale de la machine et coupe sur l'axe du condenseur et de la pompe à air.

FIG. 8 bis. Piston en plan et en coupe.

FIG. 8 ter. Détails du bâti.

PLANCHE SIXIÈME.

FIG. 9. Même machine. Coupe sur le travers du cylindre, du condenseur, de la pompe alimentaire, du bâti et du massif.

FIG. 10. Plan général de la même.

PLANCHE SEPTIÈME.

FIG. 11. Même machine. Régulateur à compensation et à détente variable commandée par le modérateur.

Coupe sur les cônes et le modérateur.

FIG. 11 bis. Élévation générale du modérateur de M. Farcot.

PLANCHE HUITIÈME.

MÊME MACHINE.

FIG. 12. Détails de la détente variable, des tiroirs et de la distribution.

PLANCHE NEUVIÈME.

FIG. 13. Volant de la machine Farcot. Élévation générale.

FIG. 13 bis. Élévation et coupe du plateau du centre, à une plus grande échelle.

FIG. 13 ter. Coupe et ajustement de la couronne.

FIG. 14. Ajustement d'un bras, avec le plateau du centre.

PLANCHE DIXIÈME.

MACHINE SANS CONDENSATION DE SIX CHEVAUX DE M. E. BOURDON.

FIG. 15. Élévation générale.

FIG. 16. Plan général.

FIG. 17. Coupe sur le travers du cylindre, de la distribution et du bâti.

PLANCHE ONZIÈME.

FIG. 18. Même machine. Coupe longitudinale sur le cylindre et la distribution, montrant le piston en élévation.

FIG. 19. Plan et coupe du piston. Détails de l'ajustement de la tige dans le piston.

- FIG. 20. Plan du système de détente variable, avec le tiroir en coupe.
FIG. 21. Élévation du même système.
FIG. 22. Coupe sur le travers dudit.
FIG. 23. Roue qui fait varier la détente en élévation.

PLANCHE DOUZIÈME.

MÊME MACHINE.

- FIG. 24. Élévation du bâti.
FIG. 25. Plan dudit.
FIG. 26. Coupe sur le travers.
FIG. 27. Élévation de face de la bielle.
FIG. 28. Plan de ladite.
FIG. 29. Élévation de la manivelle.
FIG. 30. Coupe sur ladite.

PLANCHE TREIZIÈME.

PETIT CHEVAL ET POMPE ALIMENTAIRE DE M. E. BOURDON.

- FIG. 31. Élévation générale du petit cheval.
FIG. 32. Plan dudit.
FIG. 33. Coupe sur la longueur du cylindre et de la distribution de vapeur.
FIG. 34. Pompe alimentaire. Coupe longitudinale.
FIG. 35. Modérateur à boule de la machine de M. Bourdon. Élévation de face.
FIG. 36. Élévation latérale dudit.

PLANCHE QUATORZIÈME.

INDICATEUR DE WATT, MODIFIÉ PAR P. GARNIER.

GRILLES A LIGNITES.

- FIG. 37. Élévation de l'appareil.
FIG. 37 bis. Coupe sur l'axe vertical dudit.
FIG. 38. Grille pour brûler les lignites sardes de Nocetto et de Cadibona.
Plan de la grille.
Coupe sur les barreaux.
Intervalles desdits.
FIG. 38 bis. Grille pour brûler les lignites de Gonessa (Sardaigne).
Plan de la grille.
Coupe sur les barreaux.
Intervalles desdits.

PLANCHE QUINZIÈME.

RETOUR D'EAU ALIMENTAIRE DE L'HOPITAL MILITAIRE DE VINCENNES,
CHAUFFAGE A EAU ET A VAPEUR (t. I^{er}, p. 273; et t. II, p. 442).

FIG. 39. Élévation de face des fourneaux de la grande chaudière et de l'appareil. Tuyau de vapeur qui chauffe l'eau dans le cylindre et y fait pression. Tuyau d'alimentation allant du cylindre au bouilleur alimentaire, qui reçoit l'eau d'alimentation, avant de l'envoyer dans la chaudière.

Supports scellés et boulonnés qui portent le cylindre.

FIG. 40. Élévation longitudinale du retour d'eau avec ses robinets, ses tuyaux, et le plancher sur lequel le chauffeur se place, pour le service.

PLANCHE SEIZIÈME.

MANÈGE A DEUX CHEVAUX, A DEUX CORPS DE POMPE ET A ÉCOULEMENT
CONSTANT DE M. E. BOURDON.

FIG. 41. Élévation générale du manège, de la transmission et des pompes.

FIG. 42. Élévation de la commande des pompes et détails des cames en fonte qui égalisent l'écoulement.

PLANCHE DIX-SEPTIÈME.

RÈGLEMENT DES PARALLÉLOGRAMMES, PALIERS, BRIDES ET FREIN
DE PRONY.

FIG. 43. Principe de règlement des parallélogrammes d'une machine à deux cylindres.

FIG. 44. Règle à niveau pour dresser et niveler un cylindre de machine à vapeur.

FIG. 45. Niveau servant à rendre horizontal, l'axe de rotation d'un balancier.

FIG. 46. Frein de Prony. Élévation longitudinale et coupe sur l'arbre de couche.

FIG. 47. Élévation latérale du frein.

FIG. 48. Palier en élévation.

FIG. 48 bis. Plan dudit.

FIG. 49. Mâchoire à vis pour soutenir un piston, quand on démonte la tête de la tige.

- FIG. 50. Bride à boulon pour tuyaux de fonte.
FIG. 50 bis. Même bride pour tuyaux de cuivre.
FIG. 54. Bride Moulfarine à deux vis et à cône intérieur, serrant sur deux collerettes-cônes brasées aux tuyaux.

PLANCHE DIX-HUITIÈME.

DÉTENTE A DEUX TIROIRS DE J. F. SAULNIER, DE LA MONNAIE.

- FIG. 52 et 53. Huit positions successives de la grande manivelle, des engrenages et des manivelles qui commandent les deux tiroirs, position des tiroirs et du piston, correspondant à huit degrés de détente.

PLANCHE DIX-NEUVIÈME.

DÉTENTE VARIABLE PAR LE MODÉRATEUR DE M. HAMM,
DE SARREGUEMINES.

- FIG. 54. Arbre de la manivelle, avec la moitié du plateau qui permet de faire varier, en marchant, la course de l'excentrique et du tiroir. Élévation latérale du système.
FIG. 54 bis. Plan dudit arbre, avec son plateau d'excentrique.
FIG. 55 et 55 bis. Élévation et détail à une grande échelle, du système et de la vis qui fait varier la détente, à la main.
FIG. 56 et 56 bis. Plateau d'excentrique en élévation et en plan.
FIG. 57. Élévation générale de l'arbre de la manivelle, du plateau d'excentrique et des plans inclinés qui font varier la course de l'excentrique et du tiroir, enfin de la roue qui sert à modifier la détente à la main.
FIG. 57 bis. Coupe et détail de la roue et de la commande de la détente.

PLANCHE VINGTIÈME.

DÉTENTE VARIABLE DE M. HANREZ, DE BELGIQUE.

- FIG. 58. Coupe verticale sur le cylindre avec le tiroir et la barrette fixe de M. Hanrez.
FIG. 58 bis. Coupe horizontale sur lesdits.
FIG. 58 ter. Élévation du cylindre montrant les ouvertures de derrière du tiroir et la lumière du cylindre.
FIG. 58 quater. La même boîte à vapeur vue par-dessus.

PLANCHE VINGT ET UNIÈME.

TIROIRS ÉQUILIBRÉS DE M. JOBIN, DE SAINT-MANDÉ.

- FIG. 59. Tiroir prismatique équilibré. Coupe verticale et coupe horizontale.
FIG. 59 *bis*. Tiroir rectangulaire équilibré. Coupe verticale et coupe horizontale.
FIG. 59 *ter*. Tiroir à glissière ordinaire, modifié pour être équilibré.

PLANCHE VINGT-DEUXIÈME.

POMPE DE PUIITS, DISTRIBUTION DE CAVÉ ET LOCOMOBILE DE CALLA.

- FIG. 60. Pompe de puits, à piston plein et à clapets en bronze. Coupe sur l'axe vertical.
FIG. 61. Règlement de la distribution de vapeur dans les machines oscillantes de Cavé.
FIG. 61 *bis*. Cylindre oscillant de Cavé, avec son axe creux et ses tiroirs.
FIG. 62. Locomobile de Calla, vue par le bout antérieur, avec sa porte de foyer, son tube de niveau d'eau et les accessoires nécessaires à sa conduite.

PLANCHE VINGT-TROISIÈME.

MODÉRATEUR A COLONNE D'EAU ET A FORCE CENTRIFUGE ET POMPE DE PUIITS DE M. E. BOURDON.

- FIG. 64. Coupe sur l'axe vertical de la pompe de puits.
FIG. 65. Modérateur à colonne d'eau et coupe verticale sur le grand axe.
FIG. 66. Élévation de la même par bout.
FIG. 67. Coupe en plan sur la bêche et l'appareil tournant.
FIG. 68. Plan de l'appareil.

PLANCHE VINGT-QUATRIÈME.

RÉGULATEUR LA RIVIÈRE.

- FIG. 69. Élévation générale du système.
FIG. 69 *bis*. Coupe sur la pompe de l'appareil.
FIG. 70. Coupe sur le cylindre de refoulement d'air.

FIG. 74. Tuyau à air chaud des fours triples et septuples du major Rossi, de Turin. Coupe verticale.

FIG. 74 bis. La même. Coupe horizontale.

PLANCHE VINGT-CINQUIÈME.

SYSTÈME DE DENTURE DES ENGRENAGES DROITS ET CONIQUES.

FIG. 72. Élévation latérale d'un engrenage droit à dents de bois ou *roue de champ*.

FIG. 73. Manière de diviser une roue à dents de bois, à une grande échelle.

FIG. 74. Détail d'une des mortaises, réservées dans la couronne de fonte de la roue et de ses dents de bois.

FIG. 75. Gabarit pour régler le pas d'une roue droite.

FIG. 76. Denture d'une roue droite en place.

FIG. 77. Roue conique. Tracé de l'inclinaison des dents.

FIG. 78. Gabarit servant à tracer la forme extérieure des dents d'une roue droite.

PLANCHE VINGT-SIXIÈME

PALIER GRAISSEUR DE M. E. BOURDON ET LOCOMOBILE DE CALLA.

FIG. 79. Palier graisseur de M. Bourdon, pour arbre vertical.

FIG. 79 bis. *Id.* pour arbre horizontal.

FIG. 80. Détente variable des machines de la corvette de l'État *la Biche*, par Mazeline frères, du Havre (Voir *pl. 45, fig. 126*).

PLANCHE VINGT-SEPTIÈME.

FIG. 84. Locomobile de Calla. Élévation latérale.

PLANCHE VINGT-HUITIÈME.

APPAREIL FUMIVORE DE M. F. GUILLEMET, DE NANTES.

FIG. 82. Élévation de face de l'appareil.

FIG. 83. Coupe dudit sur l'axe du foyer.

PLANCHE VINGT-NEUVIÈME.

LOCOMOTIVE CRAMPTON A VOYAGEURS, DU CHEMIN DU NORD.

FIG. 86. Élévation longitudinale de la locomotive avec ses trois paires

de roues, son réservoir, ses boîtes à vapeur, le tuyau d'échappement de vapeur et la cheminée.

PLANCHE TRENTIÈME.

MACHINE A MARCHANDISES, SYSTÈME ENGERTH, DU CHEMIN DE FER
DU NORD.

FIG. 87. Élévation latérale de la machine montrant une partie en coupe, avec ses cinq paires de roues.

FIG. 88. Tender de la machine Engerth, dont les roues supportent en partie le foyer de la machine.

PLANCHE TRENTE ET UNIÈME.

MÊME LOCOMOTIVE ENGERTH VUE EN PLAN, PAR-DESSUS ET PAR-DESSOUS.

FIG. 89. Moitié du plan vue par-dessus.

FIG. 90. Moitié du plan vue par-dessous, c'est-à-dire la locomotive renversée.

FIG. 94. Tender de la locomotive en plan.

PLANCHE TRENTE-DEUXIÈME.

PIÈCES DÉTACHÉES DE LOCOMOTIVES, COMME TYPES.

FIG. 92. Cylindre complet de locomotive avec ses tiroirs. Coupe verticale à une grande échelle.

FIG. 92 bis. Le même cylindre. Coupe horizontale avec son tuyau d'amenée de vapeur.

FIG. 93. Tuyau de prise de vapeur partant du réservoir, avec foyer et soupape de sûreté.

PLANCHE TRENTE-TROISIÈME.

PIÈCES DÉTACHÉES DE LOCOMOTIVES.

FIG. 94. Boîte de fumée de Rouen avec les deux cylindres, les deux tuyaux d'échappement de vapeur, la boîte postérieure des tubes et la cheminée.

FIG. 95. Guides de la tige du piston.

FIG. 96. Cylindre et tiroir du Nord. Coupe verticale.

FIG. 96 bis. Les mêmes. Coupe horizontale.

FIG. 97. Piston d'Orléans. Plan.

FIG. 98. Le même. Coupe verticale et emmanchement de la tige du piston.

PLANCHE TRENTE-QUATRIÈME.

PIÈCES DÉTACHÉES DE LOCOMOTIVE.

FIG. 99. Glissières et supports du Nord. Élévation.

FIG. 99 bis. Les mêmes, en plan.

FIG. 400. Bielles motrices de Sharp. Élévation et plan.

FIG. 401. Bielles d'accouplement. Élévation et plan.

FIG. 402. Roue de locomotive en élévation.

FIG. 403. Essieu moteur brisé du Rhône.

FIG. 404. Essieu moteur Crampton droit, avec sa roue.

PLANCHE TRENTE-CINQUIÈME.

APPAREIL DE CHANGEMENT DE MARCHÉ.

FIG. 405. Appareil du Nord en élévation et complet.

FIG. 406. Barres d'excentrique du même, en place.

FIG. 407. Excentrique et collier du même, détachés.

FIG. 408. Levier de relevage d'une Crampton.

PLANCHE TRENTE-SIXIÈME.

FIG. 409. Châssis extérieur d'une Crampton vu, en élévation et en plan.

FIG. 410. Châssis intérieur de la même élévation, et plan.

FIG. 411. Boîte à graisse d'essieu moteur Crampton. Élévation et plan.

FIG. 412. Tender du chemin de fer de Strasbourg.

FIG. 413. Frein dudit, en élévation.

PLANCHE TRENTE-SEPTIÈME.

MACHINES A VAPEUR DE MER.—MARINE IMPÉRIALE.

FIG. 415. Machine de 4,200 chevaux, à 4 cylindres, de la *Bretagne*, avec ses corps de cylindre en coupe et en élévation, ses boîtes à vapeur, les roues de mise en marche, les pistons et leurs tiges, les deux manivelles et l'arbre qui commande directement l'hélice. Plan général des machines.

PLANCHE TRENTE-HUITIÈME.

MARINE IMPÉRIALE.

- FIG. 416. Coupe horizontale sur un des cylindres de la *Bretagne*, avec son piston, sa tige, sa boîte à étoupes et les conduits d'arrivée de vapeur, la boîte à vapeur et les tiroirs.
- FIG. 417. Projection horizontale de l'une des manivelles de la *Bretagne* et de l'une des bielles.
- FIG. 418. Cylindre de la machine horizontale de M. Farcot. Ajustement du cylindre dans la chemise. Plateau creux recevant la vapeur comme la chemise, et boîte à étoupes à double collier.
- FIG. 419. Tiroirs de la même machine en coupe ou avec la roue qui commande la double came.

PLANCHE TRENTE-NEUVIÈME.

MACHINES TRANSATLANTIQUES DE 250 CHEVAUX, DE SERAING.

- FIG. 420. Élévation des deux machines du côté des condenseurs.

PLANCHE QUARANTIÈME.

- FIG. 421. Les mêmes, en élévation sur les manivelles.

PLANCHE QUARANTE ET UNIÈME.

- FIG. 422. Les mêmes, vues par bout.
- FIG. 422 bis. Foyer fumivore de M. Wie Williams.

PLANCHE QUARANTE-DEUXIÈME.

- FIG. 423. Les mêmes, en plan.

PLANCHE QUARANTE-TROISIÈME.

MARINE IMPÉRIALE.

- FIG. 424. Machines à balancier de 120 chevaux de force, du *Sphinx*, bâtiment de l'État, montrant la commande des roues à palettes, le cylindre, les balanciers, les deux bielles, le bâti à colonne, la commande des tiroirs, ainsi que le tuyau d'arrivée de vapeur.

PLANCHE QUARANTE-QUATRIÈME.

MARINE IMPÉRIALE.

Machines oscillantes de 460 chevaux, du steamer de l'État
Ariel, bâtiment à hélice.

FIG. 425. Élévation générale des machines.

PLANCHE QUARANTE-CINQUIÈME.

MARINE IMPÉRIALE.

Machine horizontale de 420 chevaux de *la Biche*, par Mazeline,
du Havre.

FIG. 426. Élévation générale de ces deux machines à cylindre adossés, montrant la disposition de leurs plaques de fondation, dans le navire, les cylindres, les condenseurs et pompes à air, les boîtes à vapeur et les tiroirs, la pompe alimentaire et les engrenages de multiplication de mouvement, placés sur deux arbres et agissant sur un seul pignon, qui transmet le mouvement à l'hélice, aussi représentée.

FIG. 427. La même, détails.

FIN DE LA LÉGENDE DES PLANCHES.

TABLE DES MATIÈRES

DU DEUXIÈME VOLUME.

Articles.	Pages.	Figures.
DEUXIÈME PARTIE.		
DES PRINCIPAUX GENRES DE MACHINES A VAPEUR ADOPTÉES DANS L'INDUSTRIE, DE LEUR CHOIX ET DE LEUR ACHAT.		
578	Utilité comparative des divers systèmes de machines à vapeur.	4
579	Des principaux systèmes de machines à vapeur.	2
580	Des divers systèmes de machines à vapeur.	3
581	Des machines à vapeur à haute pression, sans condensation.	5
582	Leur emploi le plus utile.	6
583	Appliquées au remorquage dans les locomotives.	7
584	De la consommation des machines sans condensation.	<i>Ib.</i>
585	Des machines à vapeur à haute pression et à condensation; de l'irrégularité de leur marche.	<i>Ib.</i>
586	Machines à un cylindre vertical et à condensation, de M. Farcot.	8
587	De leur emploi sur les steamers et de leur consommation.	9
588	Machines horizontales à haute pression.	10
589	Des machines à trois cylindres.	<i>Ib.</i>

Articles.	Pages.	Figures.
590 Des machines de Woolf : inconvénients des machines à vapeur à moyenne pression et à deux cylindres.	41	
592 Des avantages des machines à basse pression.	43	
593 Avantages des machines de Woolf, défauts de celles de Watt ; de leur consommation en combustible, et puissance des deux systèmes.	<i>Ib.</i>	
CONSUMMATION.		
594 Consommation comparée de ces machines.	44	
595 Consommation des machines à deux cylindres de 45 chevaux, construites par MM. Windsor et C ^e , de Rouen, pour l'établissement hydraulique de Nantes.	<i>Ib.</i>	4, 2, 3, 4, 5, 6, 7.
596 Procès-verbal du 2 décembre 1856, sur l'épreuve de la machine n ^o 1.	46	
597 Machine n ^o 2.	47	
598 Résumé des expériences ci-dessus.	20	
599 Résultats résumés des expériences.	<i>Ib.</i>	
600 Consommation des machines à basse pression dites de Watt.	21	
601 Consommation des machines horizontales à condensation de M. Farcot.	<i>Ib.</i>	8, 9, 10, 11, 12,
602 Comparaison du système à deux cylindres avec les machines de M. Farcot.	22	13 et 14.
603 Emploi des machines à deux cylindres dans les élévations d'eau.	23	
604 Consommation des machines à haute pression de M. E. Bourdon, pour les petites puissances.	24	45 à 30.
605 Excès de charge que peuvent supporter les machines de Woolf.	<i>Ib.</i>	
606 Des frais proportionnels dans les divers systèmes de machines.	26	
607	ENTRETIENS.	<i>Ib.</i>
608 Entretien de la machine à deux cy-		

Articles.	Pages.	Figures.
lindres de M. Granger, de 40 chevaux et fonctionnant à 30 chevaux.	27	
609 Frais d'entretien d'une machine horizontale, à condensation, de 50 chevaux, de M. Farcot.	28	
FRAIS D'ENTRETIEN ET DE RÉPARATION DES MACHINES A DEUX CYLINDRES.		
610 Durée des diverses pièces.	30	
611 Frais d'entretien et de conduite journalière pour une machine de 45 chevaux.	<i>Ib.</i>	
612 Dépense annuelle.	31	
FRAIS ANNUELS D'UNE MACHINE A BASSE PRESSION.		
613 Consommation et frais d'une machine de 45 chevaux, à basse pression.	<i>Ib.</i>	
614 Frais de conduite journalière.	32	
615 Frais d'entretien.	<i>Ib.</i>	
616 Dépense annuelle d'une machine sans condensation.	<i>Ib.</i>	
617 Dépense annuelle comparative des trois principaux systèmes de machines à vapeur, pour une puissance de 45 chevaux.	33	
618 Résultats comparatifs et choix entre les trois systèmes.	34	
619 Des divers modes de construction. Machines avec ou sans balancier.	<i>Ib.</i>	
620 Conduite et entretien des locomotives et des machines de bateaux.	35	
621 Des machines rotatives.	36	
622 Des machines oscillantes. Leurs qualités et leurs défauts.	<i>Ib.</i>	61 à 63.
623 Machines oscillantes sur le pied du cylindre.	37	
LOCOMOBILES.		
624 Machines montées sur roues dites locomobiles.	<i>Ib.</i>	
625 Des machines locomobiles de M. Calla.	38	62 à 81

Articles.	Pages.	Figures.
626 Conduite des locomobiles.	39	
627 Dépense de combustible des locomobiles.	44	
MACHINES DU CORNOUAILLES.		
628 Des chaudières.	<i>Ib.</i>	
629 Dimensions des deux systèmes de chaudières expérimentées par M. Wicksteed, à Oldford. Chaudières du Cornouailles.	42	t. 1 ^{er} , pl. 42.
630 Chaudières à tombeau de Watt et Boulton.	<i>Ib.</i>	
634 Expériences de Wicksteed.	43	
632 Produits des chaudières à basse pression et de celles du Cornouailles, à dimensions égales.	44	
633 Tableaux de Wicksteed sur la puissance comparative d'évaporation des diverses houilles.	45	
634 Tableau n° 4. — Produit d'un grand nombre de qualités de houilles.	46	
635 Tableau n° 2. — Puissance d'évaporation des trois sortes de houilles, toute la quantité étant supposée combustible.	47	
636 Tableau n° 3. — Quantité évaporée par rapport à la température de l'eau d'alimentation.	<i>Ib.</i>	
637 Résultats des chaudières essayées.	48	
638 Corrections à faire aux résultats du Cornouailles.	49	
639 Résultats réels.	50	
640 Des machines à vapeur du Cornouailles.	51	
644 Principes de ces machines.	52	
642 Machines à double effet, système Cornouailles.	53	
643 Résultats réels des machines du Cornouailles.	54	
645 Diminution annuelle du rendement de ces machines.	55	
646 Effet de la détente.	56	

Articles.	Pages.	Figures.
647 Comparaison des résultats du Cornouailles avec ceux des machines de Woolf.	57	
649 Révolutions opérées par Woolf dans les machines à vapeur de Watt.	58	
MACHINES A VAPEUR, SYSTÈME DU CORNOUAILLES, ÉTABLIES POUR FOURNIR DE L'EAU A LA VILLE DE PARIS ET A LA VILLE DE LYON.		
650 Machines de Paris.	59	
651 Machines de Lyon.	60	
652 Résultats réels des machines à simple effet, système Cornouailles, en France.	64	
653 Machines à deux cylindres superposés.	62	
654 Machines à condensation marchant avec la vapeur perdue d'une machine sans condensation.	<i>Ib.</i>	
COMPARAISON DES MACHINES A VAPEUR AVEC LES DIVERS MOTEURS.		
655 Des moulins à vent.	63	
656 Des manéges.	<i>Ib.</i>	
657 De leurs frais généraux.	64	
658 Manège à deux chevaux pour monter de l'eau, par M. E. Bourdon.	65	41, 42.
659 Manège à bœufs.	66	
660 Compte des frais de moteur pour une filature de coton, à Metz.	<i>Ib.</i>	
664 Frais de la même filature, avec une machine à vapeur	67	
662 Comparaison des résultats.	<i>Ib.</i>	
663 Des roues hydrauliques.	68	
664 Défauts des cours d'eau.	69	
665 Ils sont rarement puissants.	<i>Ib.</i>	
666 Ils sont une source de procès, tarissent et gèlent, ou sont noyés.	70	
667 Comparaison des machines à vapeur et des cours d'eau.	71	

Articles.	Pages.	Figures.
668 Frais généraux d'un moulin à eau et d'un moulin à vapeur, en ville. . . .	<i>Ib.</i>	
672 Frais du même moulin à eau, situé hors de la ville.	74	
674 Compte des frais de moteur d'une filature de coton, sur machine à vapeur et sur cours d'eau.	75	
675 Compte annuel des frais généraux avec un cours d'eau.	76	
676 Comparaison.	77	
677 Valeur d'un cours d'eau en Normandie.	<i>Ib.</i>	
678 Observations sur la manière de traiter avec les mécaniciens.	<i>Ib.</i>	Append., note n° 4.
679 Questions à poser avant d'entreprendre une industrie.	78	
680 Choix de la machine à vapeur.	81	
684 Du marché à passer avec le mécanicien.	82	Append., note n° 4.
683 Nécessité d'un ingénieur pour organiser l'ensemble des travaux.	84	
687 Du prix des machines.	86	
689 Nécessité d'un prix qui permette des perfectionnements au mécanicien.	87	
690 Garanties morales des constructeurs.	88	
691 Des retards dans la livraison des machines et appareils.	89	
692 Examen et réception des machines à vapeur.	<i>Ib.</i>	
693 Essai des fourneaux.	90	
695 Essai de la machine à vapeur.	<i>Ib.</i>	
697 Méthode d'essai des fourneaux et de la consommation des machines.	92	
698 Causes d'erreurs dans les essais trop courts.	<i>Ib.</i>	
699 Méthode à suivre pour faire une expérience exacte.	93	
700 Délai de garantie nécessaire.	<i>Ib.</i>	
702 Calcul et mesure de la force des machines à vapeur.	94	
704 Mesure commune des moteurs.	95	
705 Mesure de la force des machines à basse pression et sans détente.	<i>Ib.</i>	

Articles.	Pages.	Figures.
706 Tension du condenseur en sens contraire du mouvement.	96	
707 Indicateur du vide.	97	
708 Calcul d'une machine à haute pression, à condensation et sans détente.	<i>Ib.</i>	
709 Machines sans condensation.	98	
710 Machine à simple effet.	<i>Ib.</i>	
711 Calcul de la vitesse du piston.	99	
712 Calcul de la détente.	<i>Ib.</i>	
713 Formule rigoureuse.	<i>Ib.</i>	
714 Formule moins exacte.	101	
715 Méthode abrégée pour calculer le travail des machines à vapeur.	102	
716 Exemple de calcul.	104	
717 Méthode défectueuse au delà des détentes à 6 volumes.	<i>Ib.</i>	
718 Méthode des mécaniciens, qui donne des résultats trop forts.	105	
719 Calcul des machines à deux cylindres.	<i>Ib.</i>	Pl. 4 à 7.
720 Calcul et essai au frein de deux machines à deux cylindres accouplés, construites par Hallette, d'Arras, pour la filature de lin de Rollepôt (Pas-de-Calais).	108	
721 Tableau des expériences faites sur deux machines de 55 chevaux, montées pour la filature de Rollepôt (Pas-de-Calais), par M. Ed. Hallette.	110 et 111	
722 Théorie et formules de M. de Pambour.	112	
723 Bases adoptées par M. de Pambour.	113	
724 Défaut de ces formules en pratique.	114	
725 Comparaison des deux méthodes en pratique.	116	
726 La différence de pression du générateur au cylindre est-elle une cause d'erreur dans la méthode des coefficients?	117	
728 Précautions à prendre pour mesurer la pression nécessaire au calcul d'une machine à vapeur.	118	
729 Exactitude de la méthode du général		

Articles.	Pages.	Figures.
Poncelet.	119	
730 Effet utile des machines à vapeur et coefficients.	<i>Ib.</i>	
734 Applications.	121	
732 Expression commune de la force des machines ; force en chevaux-vapeur.	122	
733 Du frein dynamométrique de Prony.	<i>Ib.</i>	46, 47.
734 Principe du frein.	123	
736 Observations sur le travail au frein.	124	
738 Description du frein.	126	
739 Manœuvre du frein.	127	
741 Du frein portatif et du dynamomètre du général Morin.	129	

TROISIÈME PARTIE.

ACCIDENTS QUI ARRIVENT A CHACUNE DES PIÈCES DES MACHINES; LEURS SYMPTOMES ET LEURS REMÈDES.

POMPE ALIMENTAIRE..

742 Alimentation.	131	
743 Alimentation à basse pression.	132	t. I ^{er} , fig. 175.
744 Alimentation continue à haute pression.	<i>Ib.</i>	
745 Inconvénient de cet appareil à niveau constant.	133	
746 Régularité nécessaire dans l'alimentation.	134	
747 Pompe alimentaire de M. E. Bourdon.	<i>Ib.</i>	54.
748 Pompe alimentaire de M. Séguier.	135	
749 Dérangements de la pompe alimentaire.	<i>Ib.</i>	
750 Tuyau de refoulement.	136	
751 Précautions à prendre quand le flotteur est trop bas pour marquer.	<i>Ib.</i>	
752 Des robinets d'injection et d'aspiration.	137	
753 Nettoyage des soupapes.	138	
754 Engorgement du tuyau d'aspiration.	139	
755 De l'usure des soupapes.	<i>Ib.</i>	
756 Emploi de l'eau du condenseur.	<i>Ib.</i>	
757 Des chocs que donne la pompe alimentaire.	140	

Articles.	Pages.	Figures.
758 De l'air aspiré par la pompe alimentaire.	<i>Ib.</i>	
759 Du diamètre des tuyaux.	<i>Ib.</i>	
760 De la boîte à étoupes.	444	
761 Accumulation de l'air dans les tuyaux. <i>Ib.</i>		
762 Appareils d'alimentation sans moteur. Retour d'eau. Monte-jus des sucreries. <i>Ib.</i>		
763 Retours d'eau de l'appareil de chauffage de l'hôpital militaire de Vincennes.	442	39, 39 bis
764 Cheval alimentaire de M. E. Bourdon.	445	31 à 33,
765 Appareil de M. Canson.	446	
766 Appareil de M. Pimont, dit <i>caloridore</i> <i>alimentateur</i> , pour chauffer l'eau d'alimentation.	<i>Ib.</i>	

CYLINDRES.

767 Marche de la vapeur. Du tuyau d'in- troduction.	<i>Ib.</i>	
768 Eau qui remonte dans la chemise.	448	
769 Nécessité d'augmenter alors la tension dans le générateur.	<i>Ib.</i>	
770 Dangers d'un tuyau trop étroit pour débiter la vapeur développée par la chaudière.	<i>Ib.</i>	
771 Du robinet et du tuyau de décharge.	449	
772 Précautions à prendre en hiver.	450	
773 Du parallélisme des cylindres.	<i>Ib.</i>	44.
774 Ajustement des cylindres dans les che- mises. Chemises et cylindres de MM. Windsor et C ^{ie}	454	4, 5.
775 Chemises et cylindres de M. Farcot.	452	448.
776 Rupture du fond du petit cylindre.	453	
777 Envoi de la vapeur dans la chemise pour reconnaître les fuites des cy- lindres.	454	
778 Symptômes de la rupture du fond du grand cylindre.	<i>Ib.</i>	
779 Réparation avec une plaque.	455	
780 Masticage des cylindres à la chemise. <i>Ib.</i>		
781 Cylindres et chemises coulés d'une pièce.	456	

Articles.	Pages.	Figures.
782 Masticage du plateau.	<i>Ib.</i>	
783 De la boîte à étoupes ou <i>stuffingbox</i> , et de leur garniture.. . . .	458	
784 Garnitures métalliques de MM. Legris et Cie..	460	
785 Racommodage des cylindres brisés. . .	<i>Ib.</i>	
786 De l'influence de la chemise sur la dé- pense de la machine.	461	

PISTONS.

787 De la meilleure disposition des pistons.	463	5, 18, 19, 97, 98.
789 De l'engorgement du piston	465	
790 Moyen de reconnaître si le piston laisse échapper la vapeur, et nettoyage des pistons.	<i>Ib.</i>	
791 Des ressorts.	466	
792 De la longueur à donner à la tige des pistons.	467	
793 Clavette du piston qui échappe.	468	
794 Tige trop courte.	<i>Ib.</i>	
795 Du jeu que prennent les pistons sur leurs tiges.	469	
796 Rupture de la tige du piston.	<i>Ib.</i>	
797 La tête du piston ne doit pas tourner.. .	<i>Ib.</i>	
798 Des segments	470	
799 Pistons des machines à basse pression. . .	<i>Ib.</i>	

ENTABLEMENT ET BALANCIER.

800 Invariabilité de l'entablement.. . . .	471
801 Entablements à T..	472
802 Du jeu que prennent les boules du ba- lancier.	<i>Ib.</i>

DES RUPTURES DU BALANCIER.

803 Balancier d'une machine de 30 chevaux rompu par les chocs que donnait le piston à son passage supérieur, et surtout à son passage inférieur.	473
804 Rupture du balancier d'une machine à vapeur accouplée à une autre ma-	

Articles.	Pages.	Figures.
chine semblable, et rupture d'un balancier de la machine d'un établissement hydraulique, toutes les deux dues à des tassements dans les massifs qui les portaient.	475	
PARALLÉLOGRAMME.		
807 Du nettoyage du parallélogramme.	479	
808 De l'usure des grains.	<i>Ib.</i>	
809 Montage de ses pièces.	480	
810 Son réglage.	<i>Ib.</i>	4, 43.
812 Tringles articulées du chariot.	482	
816 Le régler au bas de la course.	485	
BIELLE ET MANIVELLE.		
817 Des grains de la bielle.	<i>Ib.</i>	
818 Grains qui tournent.	486	
819 Des grains de la manivelle.	<i>Ib.</i>	
DE LA DISTRIBUTION DE VAPEUR AUX MACHINES.		
820 Boîtes dressées et rodées.	487	
821 Du passage de la vapeur à travers le masticage de la boîte du petit cylindre.	<i>Ib.</i>	4.
822 Du passage de la vapeur à travers le masticage de la boîte du grand cylindre.	488	5.
824 De l'entretien du robinet régulateur.	489	
827 Tuyaux des boîtes et tuyau du grand cylindre au condenseur.	490	
828 De l'entretien de l'excentrique.	491	
829 De l'avance des tiroirs.	492	4, 44, 42, 449, 492.
831 Théorie de l'avance du tiroir.	493	
832 Nécessité d'un règlement parfait pour une distribution de vapeur.	494	
RÉGULATEURS A TIROIRS.		
833 Régulateur des machines à deux cylindres.	495	4 à 7.

Articles.	Pages.	Figures.
834 De son règlement..	<i>Ib.</i>	
835 Leurs qualités et leurs défauts.	496	
836 Régulateurs des machines horizontales à condensation et à détente de M. Farcot.	<i>Ib.</i>	41, 42, 20 à 23, 149.
837 Régulateurs des machines à basse pres- sion dites de Watt et Boulton.	499	
838 De la détente	200	
839 Travail de la détente.	<i>Ib.</i>	
840 Détente dans les machines de Woolf.	204	4.
841 Variations de la détente et détente va- riable.	<i>Ib.</i>	
842 Détentes variables réglées par le mo- dérateur.	<i>Ib.</i>	
843 Détente à un seul tiroir mobile de M. Hanrez, de Marchiennes (Bel- gique).	203	58.
844 Résultats obtenus.	204	
845 Détente variable de M. Hamm, ingé- nieur mécanicien à Sarreguemines (Moselle), commandée par le modé- rateur à boule.	<i>Ib.</i>	54 à 57.
846 Détente dans les machines à haute pression, sans condensation.	205	55.
847 Détente de J. F. Saulnier, de la Mon- naie.	206	52, 53.
848 Règlements des tiroirs de M. J. F. Saulnier.	207	
849 Avance à donner.	<i>Ib.</i>	

CONDENSEUR.

850 Des cas dans lesquels le condenseur peut puiser directement l'eau dans un puits.	208
851 Tension de l'air et de la vapeur dans le condenseur.	209
852 De l'échauffement du condenseur plongé dans une bûche.	210
853 Échauffement du condenseur qui aspire l'eau du puits.	211
854 De l'engorgement du tuyau d'aspira- tion.	<i>Ib.</i>

Articles.	Pages.	Figures.
855 Règlement du robinet d'aspiration. . .	212	
856 Influence de la température de l'eau du condenseur sur l'aspiration, quand le puits est profond.	<i>Ib.</i>	
857 Usure de la garniture du piston et de la boîte à étoupes.	<i>Ib.</i>	
858 Le piston peut tomber au fond du condenseur.	213	
859 Durée de la garniture du piston. . . .	<i>Ib.</i>	
860 De l'air que donne le condenseur, et des moyens de reconnaître les ouvertures par lesquelles il pénètre dans la machine.	<i>Ib.</i>	
861 Danger de l'air que prennent les machines.	214	
862 Air fourni par l'eau des puits.	213	
863 Indicateur du vide. Mesure du vide dans le condenseur.	<i>Ib.</i>	
864 Clapet qui ne retombe pas.	<i>Ib.</i>	
865 Défauts des condenseurs horizontaux. .	216	
866 De la quantité d'eau nécessaire à la condensation.	<i>Ib.</i>	
867 Injection de vapeur dans le condenseur. .	217	
868 Des dépôts qui engorgent le condenseur.	<i>Ib.</i>	
869 Appareil de condensation de S. Hall. .	218	
870 Appareil d'Alexis Sauvage pour l'alimentation des machines à vapeur avec la vapeur condensée.	<i>Ib.</i>	
871 Refroidissement continu de l'eau de condensation.	219	
872	POMPES DE PUIITS.	220
873 De la quantité d'eau que peuvent fournir les pompes.	<i>Ib.</i>	
874 Proportion des pompes.	221	
875 Construction de la pompe foulante. . .	<i>Ib.</i>	60.
876 Usure des soupapes.	222	
877 Du cuir ou de la boîte à étoupes. . . .	223	
878 De la hauteur à laquelle on doit placer la pompe dans le puits.	<i>Ib.</i>	

Articles.	Pages.	Figures.
879 De la pose de la pompe	<i>Ib.</i>	
880 Des causes qui diminuent le produit des pompes à eau	225	
881 De la vitesse à leur donner	<i>Ib.</i>	
882 Du diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement	<i>Ib.</i>	
883 Pompe à eau de M. E. Bourdon	226	64.
884 Nettoyage du puits	227	
DU MODÉRATEUR OU RÉGULATEUR DE VITESSE.		
885 Méthode pratique pour le régler	<i>Ib.</i>	
886 De sa vitesse moyenne	228	
887 Détermination des poulies de commande	<i>Ib.</i>	
888 Des limites dans lesquelles il régularise la vitesse des moteurs	229	
889 Modérateur de M. Molinié	230	
890 Régulateur à détente de M. la Rivière	<i>Ib.</i>	69, 69 bis.
891 Régulateur hydraulique de M. E. Bourdon	232	65 à 68.
892 Jeu de l'appareil	<i>Ib.</i>	
893 Modérateur à compensation de M. Farcot	234	41, 42, 20 à 22.
894 Fonctionnement de l'appareil	235	
895 <u>Leçons de mécanique pratique de M. le général A. Morin, membre de l'Institut. Troisième partie. Des machines à vapeur. Règles pour l'établissement de ces machines.</u>	236	
896 Relation entre la pression dans la chaudière et dans le cylindre	237	
897 Pression résistante derrière le piston	<i>Ib.</i>	
898 Vitesses de piston	239	
899 Comparaison des résultats de l'observation avec ceux des formules	<i>Ib.</i>	
900 Effet utile des machines à basse pression de Watt	240	
901 Machines à moyenne pression, à détente et condensation, à deux cylindres (système de Woolf)	241	

Articles.	Pages.	Figures.
902 Machines à un seul cylindre, à détente et à condensation de MM. Meyer et Cie, et de M. Farcot.	242	8 à 44.
903 Effet utile des machines du Cornouailles. <i>Ib.</i>		
904 Machines à un ou deux cylindres, à détente et à haute pression, sans condensation.	243	
PROPORTIONS DES MACHINES.		
905 Machines à basse pression.	244	
906 Lumières d'admission.	245	
907 Orifices et tuyaux d'émission.	246	
908 Machines à deux cylindres, à détente et condensation.	<i>Ib.</i>	4 à 7.
909 Vitesse des pistons.	<i>Ib.</i>	
910 Aire des orifices d'admission du petit cylindre.	248	
911 Machines à haute pression et à détente sans condensation. Limite convenable de la détente dans ces machines.	<i>Ib.</i>	45 à 30.
912 Vitesse du piston.	249	
913 Course du piston.	<i>Ib.</i>	
914 Poids d'eau à vaporiser par cheval et par heure, à diverses pressions et avec des détentés nulles et variant de 4 à 4.	250	
915 Poids d'eau à vaporiser pour les machines à détente variable.	<i>Ib.</i>	
916 Machines à haute pression, détente et condensation, à un cylindre.	251	
917 Limite de la détente.	<i>Ib.</i>	
918 Vitesse des pistons.	252	
919 Des volants des machines à vapeur.	<i>Ib.</i>	43, 44.
920 Avantages des bielles longues.	253	
921 Machines à détentés variables.	<i>Ib.</i>	
922 Machines de Woolf à deux cylindres.	254	
923 Machines oscillantes de Cavé.	<i>Ib.</i>	61 à 63.
924 Machines à deux cylindres accouplées sur le même arbre avec manivelles d'équerre et manivelles triples.	<i>Ib.</i>	
925 Diamètre des volants.	255	

Articles.	Pages.	Figures.
QUATRIÈME PARTIE.		
SOINS GÉNÉRAUX A DONNER AUX MACHINES A VAPEUR.		
DES MASTICS.		
926 Précautions à prendre dans les masti- cages	256	
926 <i>bis.</i> Diverses espèces de mastics.	257	
927 De la composition du mastic de fonte. <i>Ib.</i>		
928 De son emploi.	258	
931 Du mastic de fonte et de soufre fondu.	260	
932 Mastic de fonte et d'argile.	<i>Ib.</i>	
933 Du mastic rouge; de sa préparation. . .	264	
934 De son emploi.	262	
935 Masticage des tuyaux.	<i>Ib.</i>	50, 51.
936 Mastic économique.	263	
937 Mastic Serbat.	<i>Ib.</i>	
938 Masticage d'un plateau.	264	4, 5, 418.
939 Autre mastic à la chaux vive.	<i>Ib.</i>	
940 Diverses espèces de masticages	<i>Ib.</i>	
941 Mastic employé pour les réparations des cornues à gaz en terre.	265	
942 Fermeture par un anneau en cuivre. . .	<i>Ib.</i>	
943 Joints des appareils à circulation d'eau et à vapeur	266	
944 Joints métalliques, à cercle mobile, de MM. Laforest fils et Boudeville, de Reims.	267	
945 De la graisse des os.	<i>Ib.</i>	
946 Savons employés pour graisser les en- grenages et les essieux de waggons.	268	
947 Huile de pied de bœuf et suif.	269	
COMMUNICATIONS DE MOUVEMENT.		
949 Des arbres et des paliers.	270	48 et 48 <i>bis.</i>
950 Des grains.	<i>Ib.</i>	
951 Alliage que l'on peut couler sur les pièces frottantes mêmes.	274	
952 Boîtes à graisse des locomotives.	<i>Ib.</i>	
953 Palier graisseur de M. E. Bourdon. . .	272	79 et 79 <i>bis.</i>

Articles.	Pages.	Figures.
954 Graissage et réparations.	273	
956 Des grains en bois dur et des galets. . .	275	
957 Des galets.	<i>Ib.</i>	
958 Des grains en fonte et en acier.	<i>Ib.</i>	
959 Du graissage des engrenages.	276	
960 Du jeu que prennent les dents de bois. .	<i>Ib.</i>	72.
961 Des bois à employer pour les dents. . .	<i>Ib.</i>	
962 Des mortaises des dents.	277	74.
963 De la préparation et de la pose des dents.	278	
964 Du tournage des engrenages à dents de bois.	279	72 à 78.
965 De la division des dents.	280	
966 Mesure d'un pas employé dans plu- sieurs ateliers.	281	
967 Tracé de l'épaisseur des dents.	282	
968 De leur courbure.	<i>Ib.</i>	
969 De l'emploi des calibres.	283	75 à 78.
970 Opérations à faire pour denter un en- grenage.	284	
971 Usure des roues d'angles callées sur arbre vertical.	<i>Ib.</i>	
972 DU CALLAGE DES ROUES.		
973 De la nécessité de fixer invariablement les paliers.	285	
974 Collection de modèles d'engrenages du Conservatoire, (tracés d'Olivier) . . .	286	
975 Des cordes.	<i>Ib.</i>	
976 Des courroies et du choix des cuirs. . .	288	
976 bis. Courroies en caoutchouc vulcanisé.	289	
977 Conditions pour que les courroies mar- chent bien.	<i>Ib.</i>	
978 De leur entretien.	<i>Ib.</i>	
979 De la pose des tambours et des poulies destinés à porter les courroies. . . .	290	
980 Utilité des courroies dans la transmis- sion.	<i>Ib.</i>	
981 Des chaînes.	294	
982 Des chaînes-Galle.	<i>Ib.</i>	

Articles.	Pages.	Figures.
CONDUITE DES MACHINES A VAPEUR.		
983 De la nécessité de réparer immédiatement les accidents.	<i>Ib.</i>	
984 De la surcharge des machines.	292	
985 Des défauts que doivent éviter les propriétaires de machines à vapeur. . .	293	
986 Du but que l'on doit se proposer. . . .	294	
987 De la propreté à exiger des chauffeurs.	295	
988 Nettoyage de chaque semaine.	296	
989 De la clôture des fenêtres et des portes.	<i>Ib.</i>	
990 Précautions à prendre pour ne pas fatiguer ni déformer les pièces de la machine.	297	
994 De la visite du propriétaire.	298	
992 1 ^o Examen du condenseur.	<i>Ib.</i>	
993 2 ^o De la bielle.	<i>Ib.</i>	
994 3 ^o Des boîtes à vapeur et des tiroirs. .	299	
995 4 ^o Du manomètre.	<i>Ib.</i>	t. I ^{er} , 468 à 470.
996 5 ^o De l'alimentation. Flotteur et pompe alimentaire	<i>Ib.</i>	
997 6 ^o Des soupapes de sûreté.	<i>Ib.</i>	170 à 172.
998 Des qualités nécessaires au chauffeur.	300	
999 Allumage du feu.	301	
1000 Du chauffage de la chaudière.	302	
1001 Du graissage de la machine.	<i>Ib.</i>	
1002 De l'expulsion de l'air des cylindres. .	303	
1003 De la mise en activité de la machine. .	<i>Ib.</i>	
1004 Du graissage des pistons.	304	
1005 Présence du chauffeur à sa machine. .	305	
1006 La machine fermée aux ouvriers. . . .	<i>Ib.</i>	
1007 Cloche d'alarme.	<i>Ib.</i>	
1008 De la surveillance du chauffeur. . . .	306	
1009 De la conduite du feu.	<i>Ib.</i>	
1010 Proportions des charges.	307	
1011 Décrassement de la grille.	309	
DE LA MARCHÉ DES FOURNEAUX.		
1012 Influence de la saison.	<i>Ib.</i>	
1013 Nécessité de se rendre compte de la dépense du combustible.	340	

Articles.	Pages.	Figures.	
4014	Comptabilité du combustible.	310	
4015	Feuilles de semaine.	311	
4016	Surveillance des machines dans le Cornouailles.	<i>Ib.</i>	
4017	Service que peut faire un chauffeur.	<i>Ib.</i>	
4018	Nettoyage du cendrier.	312	
4019	Des moyens d'éviter la fumée, par la conduite seule des fourneaux	<i>Ib.</i>	
4020	Conduite du registre.	313	
4021	Des moyens d'arrêter l'excès de tension de la vapeur.	315	
4022	Des précautions à prendre en arrêtant la machine.	<i>Ib.</i>	
4023	Régularité de la pression de la vapeur.	<i>Ib.</i>	
4024	Mesure de la qualité des fourneaux de machines à vapeur, par l'eau de condensation.	316	
4025	Essai des fourneaux à haute pression et sans condensation.	317	
4026	De la vitesse des machines à vapeur.	<i>Ib.</i>	
4027	Vitesse des pistons des machines à vapeur.	318	
4028	Vitesse de régime des machines à vapeur.	<i>Ib.</i>	
4029	Des machines à vapeur à grande vitesse.	319	
4030	Du métronome.	<i>Ib.</i>	
4031	Du compteur.	320	
4032	Du graissage.	<i>Ib.</i>	
DE LA POSE DES MACHINES A VAPEUR.			
4033	Nécessité des soins les plus grands dans la pose d'une machine.	322	
4034	Puits.	<i>Ib.</i>	
4035	Massifs.	323	
4036	Des beffrois en bois et des massifs.	<i>Ib.</i>	
4037	De la chambre de la machine.	324	
4038	Châssis en bois.	325	
4039	Chaudières.	<i>Ib.</i>	l. 1 ^{er} , 4 ^{re} partie.
4040	Pose de l'arbre de la manivelle et du volant.	<i>Ib.</i>	
4042	Du volant.	327	43, 44.

Articles.	Pages.	Figures.
4043 Du balancier.	328	4 à 6.
4044 Du grand axe de la machine, et de la bielle.	329	
4045 De la grande plaque et des colonnes.	330	4 à 6.
4046 Axe de rotation de la manivelle.	<i>Ib.</i>	
4047 Entablement, grande plaque et co- lonnes.	331	
4048 Axe de rotation du balancier.	<i>Ib.</i>	45.
4049 Condenseur et cylindres.	<i>Ib.</i>	
4050 Autres pièces de la machine.	322	
4051 La machine doit être montée d'avance dans l'atelier de construction	333	
4052 Machines portatives.	334	62 à 81.
4053 Machines à un cylindre.	<i>Ib.</i>	
4054 Pose des machines horizontales.	<i>Ib.</i>	8 à 44 et 47 à 30.
4055 De la consolidation d'un massif ébranlé.	335	

CINQUIÈME PARTIE.

DES MACHINES LOCOMOTIVES.

4056 Concours du Sæmmering (1853).	337	
4059 Système de M. Engerth.	344	
4060 Emploi de la houille en nature.	344	
4061 Durée de travail d'une crampton de MM. J. F. Cail et C ^{ie}	<i>Ib.</i>	84, 85.
4062 Application de la détente.	<i>Ib.</i>	

APPAREIL MOTEUR DES LOCOMOTIVES.

4063 Cylindres à vapeur.	345	92, 93 à 96.
4064 Appareil de changement de marche.	346	105 à 108.
4065 Tuyau d'échappement de vapeur.	<i>Ib.</i>	94.
4066 Châssis, bâtis, roues et essieux.	<i>Ib.</i>	109 à 111, 112 à 114.
4067 Tender.	<i>Ib.</i>	112.
4068 Tuyau de prise de vapeur.	347	93.
4069 Régulateur.	<i>Ib.</i>	
4070 Alimentation des chaudières.	348	
4072 Tuyaux d'alimentation et de refoule- ment. Accouplement de la machine et de son tender.	349	
4073 Incrustations.	350	
4074 Cylindre.	351	96, 96 bis.

Articles.	Pages.	Figures.
1075 Robinets purgeurs et graisseurs.	353	
1076 Des pistons.	<i>Ib.</i>	95 à 98
1077 Des glissières ou guides du piston.	354	99, 99 <i>bis</i> .
1078 Transmission du mouvement.	355	
1079 Essieu moteur.	<i>Ib.</i>	403, 404.
1080 Bielles motrices.	356	400.
1081 Bielles d'accouplement.	357	404.
1082 Du frein.	<i>Ib.</i>	443.
1083 Frein Laignel.	359	
DISTRIBUTION DE VAPEUR.		
1084 Avance et détente variable de Stephen- son, et appareil de changement de marche.	360	
1085 Appareil de changement de marche. Principe.	361	
1086 Recouvrement intérieur et extérieur des tiroirs.	362	
1087 Excentriques.	363	407.
1088 Appareil de changement de marche. Description.	364	415.
1089 Tiroirs.	366	92.
1090 Application de la coulisse, à la détente variable.	<i>Ib.</i>	
1091 Des boîtes à sable.	367	
1092 Tiroirs équilibrés de M. Jobin, méca- nicien à Saint-Mandé (Seine).	368	59, 59 <i>bis</i> et 59 <i>ter</i> .
1093 Locomotives à marchandises du chemin de fer du Nord, construites au Creuzot (système Engerth).	374	86 à 91.
1094 Conditions d'établissement.	372	
1095 Travail des machines Engerth.	374	
1096 Réparations des chaudières, nettoyage et lavage des locomotives.	375	
1097 Nettoyage et lavage des locomotives en service.	378	
1098 Nettoyage du mécanisme.	379	
1099 Lavage des chaudières.	<i>Ib.</i>	
1100 Tableau comparatif du prix de revient du nettoyage des machines, dans di- vers chemins de fer.	382 et 383	

Articles.	Pages.	Figures.
1101 Des accidents dans les chemins de fer ; de leur proportion et de leurs causes.	384	
1102 Expériences de M. Jules Poirée, ingé- nieur des ponts et chaussées.	386 et 387	
1105 Expériences sur le frottement de glis- sement	389	
1106 Expériences sur le tirage des trains. .	<i>Ib.</i>	

SIXIÈME PARTIE.

DES MACHINES DE STEAMERS.

1107 Du système des machines à basse et à haute pression.	391	t. I ^{er} , 45 à 51.
1108 Dangers des chaudières à basse pres- sion.	<i>Ib.</i>	
1111 Chaudières des steamers aux États-Unis et en Europe.. . . .	393	
1112 Remplacement à bord des chaudières à basse pression, par les chaudières de locomotives Engerth, timbrées à 4 atmosphères 1/2.	394	
1113 Machines de la marine impériale. . . .	396	
1114 Machines du <i>Sphinx</i> , avec roues à pa- lettes, et de 160 chevaux ensemble.	397	124.
1115 Machines oscillantes de l'avis <i>Ariel</i> , commandant une hélice.	399	125.
1118 Machines horizontales et directes du vaisseau <i>la Bretagne</i> , de 130 canons, (1,200 chevaux de puissance nomi- nale)	402	115, 116, 117.
1121 Distribution de vapeur.	405	
1123 Dimensions des pièces des machines de <i>la Bretagne</i>	407	
1124 Travail des machines du <i>Redoutable</i> , de 900 chevaux.	408	
1125 Travail de <i>la Bretagne</i>	<i>Ib.</i>	
1126 Machines horizontales de l'avis <i>la</i> <i>Biche</i> et de <i>la Pomone</i> , construites par MM. Mazeline frères, du Havre.	<i>Ib.</i>	126.
1127 Données et résultats des machines des deux avisos <i>la Pomone</i> et <i>la Biche</i> ..	410	

Articles.	Pages.	Figures.
DES STEAMERS TRANSATLANTIQUES.		
1128 Conditions mécaniques à remplir pour assurer d'avance le succès de ces services en France.	414	
1131 Travail moteur; consommation du combustible; chaudières et fourneaux. .	413	
1132 Chaudières.	414	
1134 Machines à vapeur.	416	
1135 Machines accessoires.	417	
1136 Condenseurs à surface métallique. . .	<i>Ib.</i>	
1137 Nouveaux systèmes de machines à vapeur.	418	
1138 Du travail moteur et des propulseurs. .	419	
1140 Vitesse de marche des transatlantiques. .	420	
1141 Dimensions des coques de navires. . .	<i>Ib.</i>	
1142 Formes du navire; sa rigidité.	421	
1143 Machines transatlantiques à deux cylindres, de 250 chevaux, de la maison Cockerill et C ^e , à Seraing (Belgique), directeur M. Pastor, ingénieur en chef M. Brialmont.	422	420, 421, 422, 423
1145 Bâti.	424	
1147 Guides des tiges de piston.	426	
1148 Cylindres, boîtes à vapeur, et soupapes d'expansion.	427	
1154 Traverse tête de tige, coulisseau et bielle.	434	
1155 Distribution, excentriques, etc.	435	
1159 Condenseurs et pompes à air.	440	
1160 Alimentation et pompe de cale.	441	
1162 Chaudières et pompe à main.	442	
1163 Résultats donnés par les machines transatlantiques de 250 chevaux de Seraing.	<i>Ib.</i>	
1165 Montage des machines de mer.	444	

**ENTRETIEN ET RÉPARATIONS
DES MACHINES DE MER.**

1166 Entretien des chaudières.	<i>Ib.</i>
--	------------

Articles.	Pages.	Figures.
4167 Entretien des machines de steamers. Chambre des machines..	445	
4173 Approvisionnements et rechanges . . .	449	
4174 Approvisionnements en matières de première nécessité..	450	
4175 Approvisionnements en matières pour réparations..	451	
4176 Premier tableau	<i>Ib.</i>	
4177 Deuxième tableau	452	
4178 Service en marche.	<i>Ib.</i>	
4179 Avaries survenues dans les organes de machines; moyens employés pour les réparer avec les ressources du bord.	<i>Ib.</i>	
4183 Réparations des coussinets.	455	
4184 Tige de piston et grande bielle forcées. <i>Ib.</i>		
4185 Paliers et chapeaux de palier cassés. . <i>Ib.</i>		
4186 Clapets de pompes à air et de conden- seurs brisés.	<i>Ib.</i>	
4188 Tuyaux crevés.	456	
4189 Avaries des robinets d'injection et de prise d'eau..	<i>Ib.</i>	
4190 Réparation d'un piston.	<i>Ib.</i>	
4191 Réparations des balanciers.	457	
4193 Réparation d'un tiroir.	<i>Ib.</i>	
4194 Réparation d'un vilebrequin ou arbre à trois manivelles.	<i>Ib.</i>	
4195 Remplacement d'un presse - étoupe brisé..	458	
4196 Remplacement d'un chariot d'excen- trique.	<i>Ib.</i>	
4197 Réparation d'une bielle latérale du grand T.	<i>Ib.</i>	
4198 Bris du butoir de l'arbre moteur ou du taquet d'excentrique.	<i>Ib.</i>	
4199 Rupture d'un couvercle de cylindre. . <i>Ib.</i>		
4200 Avaries dans les pompes à air; trans- formation d'une machine à basse pression en machine à haute pres- sion sans condensation..	459	
4201 Condenseur défoncé.	<i>Ib.</i>	

Articles.	Pages.	Figures.
4202 Avaries des propulseurs.	459	
4203 Réparations des hélices	460	

LÉGISLATION DES MACHINES A VAPEUR.

4204 Questions de législation	461	
4206 Excellent esprit de la nouvelle ordonnance.	462	
4210 Des ingénieurs de l'administration. . .	464	

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

APPENDICE

DE LA SECONDE PARTIE.

	Pages.
Note n° 1. Foyer fumivore de M. F. Guillemet.	467
Note n° 2. Températures moyennes des sept mois d'hiver à Paris.	473
Note n° 3. Loi concernant les contraventions aux règlements sur appareils des bateaux à vapeur.	475
Note n° 4. Projet d'acte pour la vente d'une machine à vapeur.	480
Note n° 5. De la fabrication du fer avec les lignites du Piémont, et avec des fours à réchauffer triples et septuples.	483
Note n° 6. Accidents survenus à une chaudière à vapeur par l'ou- verture en grand des soupapes de sûreté.	497
Note n° 7. Essai sur l'équivalent mécanique de la chaleur.	499
Note n° 8. Appareil fumivore de M. Wie Williams.	529
Légende des planches.	534
Table des matières de la deuxième partie.	543
Table alphabétique générale des deux volumes.	574

ERRATA.

Page 29, ligne première, au lieu de : *Nord*, lisez : *Pas-de-Calais*.
Page 499, ligne deuxième, au lieu de : *la vapeur*, lisez : équivalent
mécanique de *la chaleur*.

TABLE ALPHABÉTIQUE GÉNÉRALE

DES DEUX VOLUMES.

	Tomes.	Pages.
A		
Autel.	I	98
Alandier à houille	I	412
Id. au coke.	I	412
Id. au bois.	I	443
Armatures de fourneaux.	I	418
Argile (incrustations)	I	437
Alimentation (accidents).	II	434
B		
Bouilleurs	I	23
Leur masticage	I	30
Accidents et réparations.	I	32
Changement.	I	38
Barreaux de grille	I	95
Beaufumé (système).	I	447, 460 à 469
Bains (chauffage des)	I	428
Bévenot (procédé) (incrustations).	I	438
Blocage de la houille en bateaux.	I	394
Balanciers (machine à).	II	35
Boîtes à étoupes (entretiens).	II	458
Id. à garniture métallique de Legris et Cie.	II	460
Balanciers rompus.	II	472
Bielle (entretiens).	II	485
C		
Chaudières à vapeur.	I	43
Leur forme.	I	46
Chaudière Lemare.	I	48, 428
Id. à fond plat.	I	49, 49

	Tomes.	Pages.
Chaudières cylindriques.	I	22
Id. à deux bouilleurs.	I	23
Id. à trois bouilleurs.	I	28
Durée des chaudières.	I	40
Dimensions et épaisseurs légales.	I	44, 44
Chaudières en cuivre.	I	61
Id. en tôle.	I	62
Leur poids.	I	63
Carneaux.	I	74, 86, 92
Cheminées et carneaux.	I	72
Id. communes.	I	73
Id. d'usines.	I	78
Chaudières de la saline de Dieuze.	I	87
Id. d'acide sulfurique.	I	88
Cheminées en fonte.	I	90
Id. en tôle et en cuivre.	I	90
Combustion lente.	I	93
Cendriers.	I	97
Chaudière Farcot.	I	120
Combustibles.	I	203 à 233
Houilles grasses et maigres, houilles anglaises.		
Cahier des charges (marine de l'État).		
Coke et fours à coke.		
Bois.		
Tourbe.		
Bagasse.		
Anthracite.		
Lignite.		
Tannée.		
Pouvoir calorifique des combustibles.		
Composition chimique des bois.		
Chauffage par l'eau et la vapeur.	I	262 à 290
Appareil de circulation d'eau par la vapeur.		
Avantages du système.		
Atelier de reliure de MM. Mame et Cie, à Tours.		
Hôpital militaire de Vincennes.	I	273
Maisons Mazas et Boissaye.		
Filature de M. Villemiot, à Reims.		
Faïencerie de M. Utzschneider, à Sarreguemines.		
Chauffage d'ateliers par l'eau de condensation.	I	286

	Tomes.	Pages.
Cendrier (fermeture du)	I	394
Choix entre les principaux systèmes de machines . .	II	34
Calcul et mesure de la force des machines.	II	94 à 422
Mesure commune des moteurs.		
Machines à basse pression sans détente.		
Indicateur du vide.		
Machines à haute pression, à condensation, sans détente.		
Machines à haute pression, sans condensation.		
Id. à simple effet.		
Détente calculée. De la détente.	II	99
Calcul des machines à deux cylindres	II	405
Coefficients : méthode du général Poncelet.	II	414
Caloridore de Pimont.	II	446
Cylindres et chemises	II	446
Accidents et entretien des cylindres.		
Influence de la chemise, sur la dépense de vapeur.	II	461
Condenseur.	II	208
Entretiens et réparations.		
Condenseur de Sauvage et de Hall.	II	218
Communications de mouvement.	II	269
Arbres paliers et grains.	II	270
Cordes et leurs qualités.	II	286
Courroies. Qualité, travail, entretien.	II	288
Chaîne Galle, et autres.	II	291
Conduite des machines à vapeur.	II	291
Surcharge et inspection.		
Allumage du feu.	II	304
Cloche d'alarme	II	305
Compteurs de travail.	II	320

D

Détente (calcul de la)	II	99
Travail produit par différentes détentes.		403
Détente variable	II	496 à 208
Détente variable de Farcof.		
Id. de Windsor.		
Id. de Harrez.		
Id. de Hamm.		
Id. de J. F. Saulnier.		

	Tomes.	Pages.
Distribution de vapeur.	II	487 à 208
Conditions de bonne installation.		
Accidents et entretiens.		
Tiroirs, glissières, tuyaux et excentriques.		
Règlement des machines à deux cylindres.		
Id. de celles à basse pression.		
Id. de celles de Cavé.		
Robinet régulateur, avancé du tiroir.		

E

Enveloppes.	I	49
Eaux corrosives.	I	143
Effet utile du combustible.	I	223 à 230
Procédés pour utiliser la vapeur perdue.		
Prix du tirage dans divers travaux industriels.		
Chauffage par la fumée.		
Emploi de la vapeur perdue pour le chauffage de l'eau d'alimentation.	I	257 à 262
Réservoir-chauffeur de Vincennes.		
Appareil Legris et Choisy (alimentation).		
Explosions.	I	340 à 335
Mesures à prendre en cas d'explosion.		
Causes d'explosion.		
Résultats et chaudière de M. Boutigny, d'Évreux.		
Explosions à bord des steamers.		
Précautions contre les explosions.		
Mesures administratives ordonnées.		
Id. id. pour les circulations d'eau.		
Vase de détente de Mazas.	I	335
Entretiens des principaux systèmes.	II	26 à 33
Machines à deux cylindres.		
Id. horizontales Farcot.		
Id. à basse pression.		
Id. à haute pression, sans condensation.		
Effet utile des diverses machines à vapeur (Poncelet).	II	149
Entablement et balancier : conditions de stabilité.	II	171
Engrenages.	II	276
Denture : entretiens.		
Remontage et division des dents.		
Callage des roues.		
Collection des modèles du Conservatoire.	II	286

	Tomes.	Pages.
Équivalent mécanique de la chaleur, recherches de M. Ch. Laboulaye	II	499 à 528
F		
Fourneaux	I	64, 417
Ses éléments	I	68
Foyers	I	400
Id. à bois ou à tourbe	I	408
Id. au coke	I	440
Id. à flamme renversée	I	444
Id. de circulation d'eau	I	443
Four Selligue	I	447
Fourneaux à réverbère Marrhem	I	423
Foyers fumivores	I	449
Id. à alimentation continue	I	476
Flotteur	I	374
Usage du flotteur.		
Flotteur Bourdon.		
Frais proportionnels des principaux systèmes de ma- chines à vapeur	II	26
Frein de Prony	II	422
Conditions pour de bons essais.		
Frein portatif dynamométrique du général Morin	II	429
Fumée supprimée par la conduite du feu	II	312
Fourneaux (essais des)	II	347
Foyer fumivore de M. Guillemet	II	467
Fabrication du fer avec les fours triples et septuples du major Rossi, et emploi des lignites du Piémont	II	483
Foyer fumivore de M. Williams	II	529
G		
Grilles (proportions)	I	68
Générateurs à foyer intérieur	I	425
Id. de E. Bourdon	I	429
Id. Molinos et Prosnier	I	430
Id. Hallette	I	434
Id. Strecker	I	432
Id. chauffé par les fours à fer	I	234 à 243
Id. chauffé par des fours à coke	I	255
Id. dans les forges (historique).		
Proportion des fours et chaudières.		

	Tomes.	Pages.
Résultats pour chaque four.		
Chaudières d'Abainville.	.	
Fours triples du major Rossi.		
Gaz (chauffage par les)	I	243 à 236
Chauffage au gaz de l'hôpital Saint-Louis et d'autres édifices.		
Poêles à gaz pour baignoires.		
Chaudières à vapeur au gaz des hauts-fourneaux.		
Gaz des hauts-fourneaux, au bois et au coke.		
Prise de gaz desdits.		
Graissage	II	273
H		
Hauteur des cheminées	I	389
I		
Incrustations	I	433
Indicateur du vide	II	97, 125
L		
Locomotives. Appareil de vaporisation	I	477 à 202
Chaudières tubulaires.		
Tirage artificiel.		
Résultats de 1840.		
Id. 1850.		
Proportions de divers appareils de vaporisation.		
Choix et lavage du combustible.		
Essais du coke.		
Allumage et extinction.		
Production d'un kilogramme de coke en vapeur.		
Entretiens, maximum d'effet.		
Locomotives (machines)	II	337 à 394
Principaux progrès réalisés.		
Machine Crampton à grande vitesse	II	338
Pièces détachées (types).		
Appareil de changement de marche	II	345
Tiroirs équilibrés de Jobin	II	368
Machine à marchandises du Nord, système Engerth	II	374
Entretiens de la partie tubulaire	II	375

	Tome.	Pages.
Expériences de M. J. Poirée.	II	286
Locomotives	II	37 à 44
Locomotive de Calla.		
Conduite et consommation.		
Législation des machines à vapeur (observations).. .	II	461
Loi concernant les contraventions aux règlements sur les appareils des bateaux à vapeur.	II	475
Lignites : conditions et grilles pour les brûler.. . . .	II	483

M

Maximum de vapeur d'une chaudière.	I	59
Manomètres	I	364
Utilité des manomètres.		
Manomètre à haute pression.		
Id. à air libre.		
Id. Desbordes.		
Id. métallique Bourdon		367
Son emploi pour l'essai légal des chaudières.		
Manomètre à haute pression : graduation.. . . .		408
Instruction sur leur construction.. . . .		473
Circulaire sur l'emploi des manomètres métal- liques dans l'essai des chaudières.		488
Machines à vapeur à haute pression, sans condensa- tion	II	5
Utilité.		
Consommation.		
Machines à haute pression et à condensation : leur utilité.	II	7
Machines à trois cylindres.	II	40
Id. à deux cylindres : qualités et défauts	II	44
Id. à basse pression : id. id.	II	43
Id. à vapeur : consommations.	II	44 à 26
Machines à deux cylindres de Windsor.		
Id. à basse pression.		
Id. horizontales de Farcot.		
Id. à haute pression de Bourdon.		
Machines du Cornouailles.	II	44 à 59
Résultats rectifiés de ces machines, d'après les expériences de Wicksteed.		
Comparaison des résultats réels avec ceux des machines de Woolf.		

	Tomes.	Pages.
Machines (système Cornouailles) des eaux de Paris et de Lyon.	II	59
Système, consommation et résultats.		
Machine marchant par la vapeur perdue d'une autre machine.	II	62
Moteurs divers : comparaison des machines à vapeur avec ces moteurs.	II	63 à 77
Moulins à vent.		
Manèges à chevaux ou à bœufs.		
Manège Bourdon, à compensation.		
Cours d'eau.		
Comparaison d'une filature et de moulins, sur cours d'eau et sur machines à vapeur.		
Masticage d'un plateau.	II	456
Manivelle : entretiens.	II	485
Modérateur à boule.	II	227
Règlement de vitesse,		
Id. La Rivière.	II	230
Mastics.	II	256
Mastics de fonte, rouge, Serbat, à la chaux.		
Mastic des cornues à gaz.		
Joints des appareils à circulation d'eau.	II	266
Joints métalliques.	II	267
Marche des fourneaux.	II	309
Comptabilité du combustible : feuilles de semaine.		
Machines à grande vitesse.	II	349
Métronome.	II	349
Machines de steamers.	II	391
Comparaison des systèmes à haute et à basse pression.		
Marine impériale.		
Machine du <i>Sphinx</i> .		
Id. de l' <i>Ariel</i> .		
Id. de la <i>Bretagne</i> .		
Id. de la <i>Biche</i> .		
Machines transatlantiques.		
Conditions nouvelles de ce service, par M. Ch. Laboulaye.	II	444
Machines transatlantiques de <i>Seraing</i> ; maison Cockerill.	II	422
Service courant; entretiens et réparations des machines de mer.		

	Tomes.	Pages.
N		
Nettoyage des chaudières.	I	441
Id. id. par l'acide chlorhydrique..	I	390

O

Ordonnance du 22 mai 1843 sur les chaudières et machines à vapeur.	I	410
Épaisseur légale des chaudières.	I	425
Diamètre des soupapes de sûreté	I	426
Instruction pour l'exécution de l'ordonnance du 22 mai.. . . .	I	427
Ordonnance sur les bateaux.	I	449 à 463
Ordonnance sur la fumée.	I	464
Instruction pour éviter la fumée.	I	466
Instruction sur les précautions à prendre dans l'emploi des chaudières fixes.	I	480
Catégorie des différentes capacités de chaudières pour différentes sections.	I	491
Oscillantes (machines).	II	36

P

Portes de fourneaux	I	99
Plongeur (tuyau).	I	134
Pommes de terre (incrustations).	I	135
Plombagine et suif id.		
Plastique Pimont.	I	200, 319
Pompe alimentaire.	II	431
Réparations et entretiens.		
Diamètre des tuyaux.		
Petit cheval alimentaire de M. Bourdon	II	145
Pistons.	II	163 à 171
Bonne construction.		
Segments.		
Entretiens.		
Parallélogramme.	II	178
Entretiens et règlement.		
Pompe de puits : proportions et entretiens.	II	220
Proportions et règles pour les principales pièces des machines, par le général Morin (<i>Leçons de mécanique pratique</i> , 3 ^e partie).	II	236 à 255

	Tomes.	Pages.
Pose des machines.	II	322
Massifs et fondations.		
Beffrois en bois.		
Chambre de la machine.		
Règles pour poser une machine à balancier.		
Id. pour machines portatives et horizontales.		

R

Registre	I	92
Rossi : fours triples	I	244
Id. id. et septuples.	II	483
Rondelles fusibles	I	338
Rondelles fusibles (composition).	I	407
Reniflards	I	374
Rotatives (machines).	II	36
Réception des machines à vapeur.	II	89
Retour d'eau : monte-jus.	II	144
Id. de l'hôpital militaire de Vincennes.	II	142
Régulateur La Rivière	II	230
Id. hydraulique de Bourdon	II	232

S

Surface directe et indirecte d'une chaudière.	I	54
Surface de chauffe, rapport à la surface totale.	I	60
Scott (machine à nettoyer de).	I	135
Steamers (chaudières des).	I	290 à 340
Système des générateurs.		
Générateurs à haute pression.		
Briques poreuses.		
Générateurs à foyers intérieurs.		
Chaudières et carneaux du <i>Madagascar</i> .		
Id. id. de la <i>Ilewa</i> .		
Id. à retour de flamme.		
Id. du <i>d'Entrecasteaux</i> .		
Id. sans tubes sécheurs, pour 900 chevaux.		
Id. de l' <i>Ardente</i> .		
Id. à tubes sécheurs.	I	306
Qualités et défauts de ces tubes.		
Chaudières de la <i>Bretagne</i> (1,200 chevaux).		
Arrimage de l'appareil de l' <i>Alexandre</i> .		
Enveloppes et poids des chaudières.		

	Tomes.	Pages.
Dépense en combustible et produit en vapeur.		
Conduite des feux à bord, et désaturation. . . .	I	324
Entretiens et service des chaudières.		
Personnel de bord pour les chaudières et machines.		
Incrustations.		
Chaudières de l' <i>Ariane</i> , du Rhin.		
Application du système Beaufumé aux chaudières de navigation.		
Machines des steamers (Voyez au mot <i>Machines</i>).		
Soupapes de sûreté.	I	356
Sifflet d'alarme.	I	360
Soulèvement de l'eau.	I	376
Soupapes de sûreté (calcul des)	I	398
Instruction sur leur construction.	I	471
Savons, huiles à graisser et suif.	II	268
Soupapes de sûreté (accidents dus à leur ouverture en grand)	II	497

T

Traverses des bouilleurs.	I	32
Transmission de la chaleur (Péclet)	I	46
Température dans les cheminées.	I	85
Théorie élémentaire des vapeurs.	I	377
Traité à passer avec les mécaniciens (modèle de) . .	II	480
Observations sur la manière de traiter avec les mécaniciens.	II	77 à 94
Travail produit par différentes détentes.	II	403
Théorie et formules de M. de Pambour.	II	412
Températures moyennes de dix hivers à Paris. . . .	II	473

U

Utilité des divers systèmes de machines à vapeur . .	II	1
--	----	---

V

Vapeur d'eau : quantité de chaleur qu'elle contient, et expériences de M. Regnault.	I	401, 402
Tensions, températures, volumes, densités, de 1 à 40 atmosphères.	I	404

	Tomes	Pages.
Mesure de la vapeur consommée par une machine à condensation	I	405
Volume de vapeur écoulé d'un vase de 1 mètre cube.	I	409
Vapeur (force élastique de 1 à 24 atmosphères). . .	I	478
Vitesse du piston (calcul de la)	II	99, 318

W

Wicksteed (expériences sur les houilles).	I	208
---	---	-----

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE.

SUPPLÉMENT.



NOTE N° 1.

Condenseur pour l'eau de mer et les eaux incrustantes.

Par Ph. Grouvelle, ingénieur civil.

En l'absence d'un bon condenseur, où la vapeur ne soit pas mêlée à l'eau de condensation, nous avons cherché à en trouver un qui pût donner de l'eau distillée, mais dont le principe et la construction soient très-simples, contrairement à ce qui a été fait jusqu'à ce jour. Avec les dispositions que nous avons adoptées, le nettoyage des dépôts qui se forment sur les tubes, est aussi facile que prompt, comme les réparations qu'il pourrait exiger. Les tubes qui sont en fer étiré, coûtent bien moins cher, et résistent beaucoup plus longtemps que ceux de cuivre, à l'action des courants de vapeur et à l'enlèvement des dépôts. Il se compose d'une bêche et d'un jeu de tuyaux en fer, dont la dilatation se fait librement, par des boîtes à étoupes, ou par l'ouverture supérieure.

Ce condenseur manquait tout à fait aux établissements placés au bord de la mer, ou à ceux dont les eaux sont trop chargées de sels terreux : c'est ce qui nous a engagés à étudier cette importante question et à ajouter ici cette note.

Le nouvel appareil permettra à beaucoup d'établissements, placés dans de mauvaises conditions d'eau, d'alimenter presque entièrement, leurs générateurs à l'eau distillée, et aussi de mettre leurs machines à condensation, système qui donne une économie de combustible, de plus d'un tiers, sur les machines sans condensation.

Quant à l'emploi du fer au lieu du cuivre, pour les tubes condenseurs, il est favorable à la plus prompte condensation de la vapeur, on trouvera en effet (*Guide du Chauffeur*, tome I^{er}, page 57), les résultats obtenus par le savant Pécelet, sur le pouvoir de transmission de la chaleur, par le fer et le cuivre.

1 mètre carré de métal, en contact d'un côté avec de la vapeur à 100 degrés et au-dessus, et de l'autre avec de l'air à 15 degrés, condense par heure en vapeur, savoir :

a

1° Tôle oxydée,	kil. 1,510
2° Tôle polie,	0,759
3° Laiton poli,	0,706
4° Cuivre rouge poli,	0,687

Les condenseurs avec tubes en fer étiré, ont donc tous les avantages, comparativement à ceux de cuivre. Économie considérable de prix coûtant, durée et résistance plus grandes, aux chocs et aux enlèvements de dépôts.

Avec ces condenseurs tubulaires, la vapeur, marchant en sens contraire de l'eau froide, est très-puissamment condensée. Nous nous chargerons au besoin, de faire construire ces appareils.

NOTE N° 2.

Injecteur pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

Par M. H. Giffard (chez M. H. Flaud, ingénieur-mécanicien à Paris).

L'alimentation des chaudières à vapeur fixes, des locomotives et des chaudières marines, est un travail d'une haute importance pour la sûreté des ateliers ou des hommes, et pour l'économie des entretiens. La négligence d'un chauffeur, entraîne infailliblement des explosions désastreuses, des morts d'hommes, ou au moins des brûlures de bouilleurs, aussi difficiles que coûteuses à réparer, comme nous l'avons montré plusieurs fois dans nos deux volumes (pages 25, 528, 535, etc.). Nous avons aussi insisté plus d'une fois, sur la délicatesse de service, des meilleures pompes alimentaires, la facilité avec laquelle elles se dérangent et la promptitude de graissage et d'arrêt de leurs clapets (p. 746).

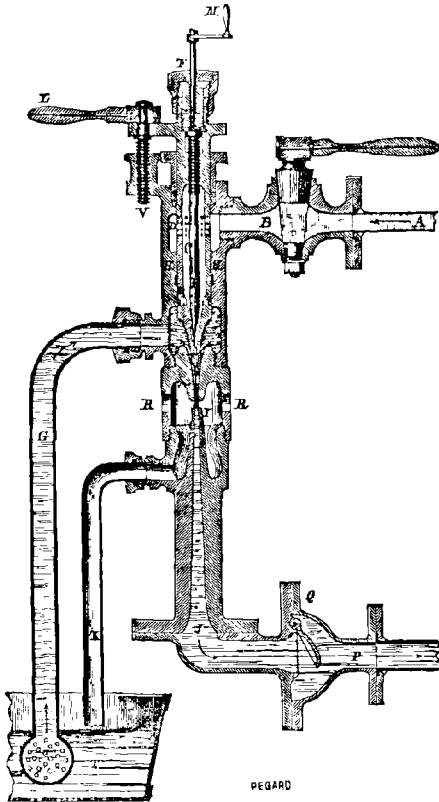
En parlant des appareils à alimenter les chaudières, qui n'ont pas de machines à vapeur, comme ceux des chauffages à vapeur, de beaucoup de teintureries et de sucreries, nous avons donné (p. 763) le tracé et la description du système de retour d'eau cylindrique, que l'on est forcé d'employer alors, et on a pu juger de la complication de ses robinets et tuyaux, et de son prix fort élevé d'installation. Ces derniers appareils exigent d'ailleurs des manœuvres multipliées, de la part du chauffeur.

Un appareil simple, économique et sûr, qui remplacerait en même temps les pompes alimentaires et les retours d'eau, et qui, une fois réglé, alimenterait seul, sans main-d'œuvre et avec certitude, serait donc un appareil d'une haute utilité. Le service rendu à l'industrie

et à ceux qui construisent ou emploient des machines à vapeur, serait aussi grand que le remplacement des manomètres à mercure, par les manomètres métalliques de M. Bourdon (562).

Ce service nous paraît réalisé aujourd'hui. Quoique la nouveauté de l'invention ne permette pas de se prononcer d'une manière définitive sur la question d'entretien et sur la continuité de travail de l'*injecteur*, question qui ne peut être résolue, que par plusieurs années de fonctionnement, la grande simplicité du système, et la suppression de toute transmission de mouvement, permettent de penser que l'injecteur conservera un travail régulier, continu, et prendra promptement place à côté des accessoires les plus parfaits des machines à vapeur.

Décrivons l'injecteur de M. Giffard.



La vapeur sort de la chaudière par le tuyau AB, muni d'un robinet d'arrêt : elle pénètre dans un second tube CD, perpendiculaire au premier, et y pénètre par de petits trous : ce second tuyau est terminé en cône du côté de la chaudière.

L'extrémité du tube CD est conique en dedans et en dehors, et elle peut être rapprochée ou écartée de la pièce II, qui est conique intérieurement, par le jeu du levier L ; celui-ci agit sur une vis à pas rapide, et fait marcher le tuyau CD, avec tout son système.

Une autre tige à vis, EF, terminée d'un bout par un cône, et de l'autre par une manivelle M, en reçoit le mouvement, et sert à régler, ou même à intercepter entièrement le passage de la vapeur, qui vient de la chaudière.

Un tuyau d'aspiration G, plonge dans la bêche T, et conduit l'eau aspirée par l'injecteur, à l'extérieur du tuyau CD, ainsi que dans la pièce H.

JJ est un ajutage divergent, qui reçoit l'eau amenée par le tuyau d'aspiration, et à laquelle la vapeur de la chaudière, en s'échappant par le bout conique du tube CD, imprime une grande partie de sa vitesse, en s'y condensant. Cet ajutage va en augmentant de diamètre du côté de la chaudière, et il est muni d'un clapet de retenue qui empêche l'eau de sortir du générateur, quand l'appareil ne fonctionne pas. Un bouchon à vis Q, permet de visiter à volonté le clapet. P est un tuyau qui conduit ensuite l'eau d'alimentation dans la chaudière.

Il y a enfin un tuyau de trop-plein ou de purge K, par lequel s'écoule l'excès d'eau que l'appareil peut aspirer.

La marche du système est facile à comprendre. La distance entre la bague II et l'extrémité conique du tuyau CD, doit être réglée en raison du volume d'eau à introduire dans la chaudière, en un temps donné ; elle ne doit jamais être moindre d'un centimètre. Le levier L et sa vis permettent ce règlement. L'eau ne doit jamais sortir par le tuyau de purge K, quand l'alimentation fonctionne.

Lorsque l'appareil ne fonctionne pas, la tige à vis EE est à fond dans le cône, et intercepte entièrement la vapeur. Dès qu'on fait faire un tour à la manivelle, et que la vapeur, à la pression de la chaudière, s'échappe, avec une très-grande vitesse par l'ouverture conique du tube C, elle fait le vide dans l'espace annulaire resté au milieu de la bague II ; l'eau de la bêche monte, appelée à une hauteur de 3 ou 4 mètres : le jet de vapeur qu'elle rencontre là, se condense immédiatement, et en même temps cette vapeur imprime au volume d'eau appelé, une vitesse et une force vive telles, que celle-ci soulève le clapet et pénètre dans le générateur.

La vitesse de la colonne d'eau introduite est même telle, que l'on est

obligé de prendre des précautions, pour ne pas produire des désordres à l'intérieur des chaudières. La vapeur qui s'échappe par l'orifice du tuyau, imprime à l'eau qu'elle a aspirée une vitesse qui est l'effet d'un choc, pareil à celui que reçoivent les projectiles dans les armes à feu ; ou à celui que le souffle de l'homme transmet à la balle d'une sarbacane, choc qui permet à l'eau de pénétrer dans la chaudière, en courant continu, et à travers l'air. On a dit à tort, que cet appareil supprimait tous les frottements, et donnait par conséquent, presque exactement, le travail théorique de la vapeur. La suppression de frottement est seulement ici celle de l'appareil mécanique qui fait marcher les pompes alimentaires ; un système dans lequel la vapeur et l'eau subissent des changements de direction si brusques, et marchent à de si grandes vitesses, est évidemment un appareil dans lequel une quantité importante de puissance mécanique est perdue en frottements.

Manœuvre de l'appareil. — La section annulaire qui sert de passage à l'eau étant réglée à 4 centimètre par exemple, qui est la section minima, et la tige à vis et à cône étant serrée à fond, à l'aide de la manivelle, pour intercepter le passage de la vapeur :

On ouvre le robinet B de la chaudière ; puis on fait faire un tour à la manivelle, pour donner passage à la vapeur qui s'échappe avec vitesse, et qui entraîne l'air contenu dans le système. Le vide se fait dans le tuyau d'aspiration, et l'eau qui monte remplit l'espace annulaire et condense la vapeur en s'échauffant.

Aussitôt que l'eau est arrivée et coule par le tuyau de trop-plein, on fait faire plusieurs tours à la manivelle, de manière à ouvrir entièrement le passage de vapeur.

L'eau qui sortait par le tuyau de trop-plein, entre alors dans la chaudière, en vertu de la force vive et de la vitesse que lui a imprimées la vapeur.

On reconnaît que l'eau pénètre dans la chaudière, à un sifflement particulier, facile à reconnaître.

On doit régler le volume introduit, en manœuvrant le levier L, et ouvrant ou fermant plus ou moins le passage de l'eau, de manière que rien ne sorte par le tuyau de purge ; un regard R, qui est à l'origine du tuyau divergent, permet de voir le courant alimentaire injecté dans la chaudière.

Applications de l'appareil. — M. L. Bougère, ingénieur à Angers, a publié en 1859 un bon mémoire sur l'injecteur de M. Giffard ; la question des applications y est surtout traitée d'une manière complète.

Il fait remarquer que les jets de vapeur n'ont été utilisés jusqu'à ce jour dans les générateurs, que comme sifflets d'alarme, et comme moyens de tirage pour les locomotives ; l'injecteur en est une nouvelle et importante application.

M. Bougère signale quatre applications, d'une grande utilité.

1^o A la navigation à vapeur.

2^o Aux locomotives.

3^o Aux machines fixes des usines.

4^o A des usages divers.

Alimentation des bateaux à vapeur. — Les pompes qui alimentent les chaudières sur les bateaux à vapeur, ont le défaut de ne plus fonctionner quand le bateau est arrêté, à des escales, ou autrement; ce qui force à jeter inutilement dans l'air la vapeur produite en excès, par suite de l'arrêt des machines.

L'injecteur remplacera très-avantageusement les pompes alimentaires pour les petits bateaux, et permettra d'utiliser à l'alimentation la vapeur en excès, développée au moment des stoppages. Sur les grands steamers, on remplacera par un appareil simple et peu coûteux le petit cheval de 12 et 15 chevaux de puissance qui sert à alimenter les générateurs de mer, petit cheval qui occupe beaucoup de place et coûte très-cher d'entretien comme de graissage.

L'injecteur servira aussi de pompe de cale (p. 493), et pendant les combats, il enlèvera très-rapidement toute l'eau qui pourrait entrer à bord, par une grande voie d'eau due à un boulet. Il servira aussi de pompe à incendie, et aucun incendie naissant ne pourra résister à son énergie.

S. E. M. le ministre de la marine a de suite commandé à M. Flaud plusieurs injecteurs, pour les placer à bord des grands steamers de l'État.

Alimentation des locomotives. — L'utilité de l'injecteur est encore plus grande ici. Les pompes alimentaires des locomotives ne peuvent fonctionner et alimenter le générateur que quand la locomotive marche. Il faut donc pour alimenter, quand un convoi est arrêté, faire courir la locomotive seule, sur la voie. L'injecteur, au contraire, alimente sans moteur, sans que la locomotive se déplace, en utilisant l'excès de vapeur qui se produit lors des arrêts; de plus, les pompes alimentaires ordinaires marchant à la vitesse des locomotives, c'est-à-dire à deux cents tours au moins par minute, sont dans de mauvaises conditions de service et d'effet utile: les clapets se dérangent très-fréquemment à cette vitesse, et s'usent très-vite.

Dans les machines à cylindres extérieurs, les pompes installées en dehors gênent beaucoup, et seront très-heureusement remplacées par l'injecteur.

Alimentation des machines fixes, des manufactures. — Avec l'injecteur, si les résultats à venir répondent à des espérances légitimes, on alimentera presque gratuitement; on supprimera alors les pompes ali-

mentaires qui sont toujours un outil sujet à dérangement, et on le remplacera par un appareil, qu'un enfant peut conduire. Dans beaucoup d'ateliers, on se sert de chaudières à vapeur sans machines à rotation, comme pour les marteaux-pilons, les raffineries de sucre, etc., l'injecteur rendra là les plus grands services.

Nous avons dit plus haut qu'il remplacerait, avec grand avantage, des retours d'eau très-complicés et chers de construction et de service.

Usages divers. — M. Bougère dit que, dans les établissements de bains, les gares de chemin de fer, et partout où l'on a besoin d'eau chaude, l'injecteur montera de l'eau chaude, à un prix très-économique. Par suite de son bon marché d'achat, il peut être employé utilement pour épuiser une mine de houille, envahie momentanément par les eaux.

M. Bougère fait enfin remarquer que toutes les grandes inventions, qui ont amené les machines à vapeur au point où elles sont aujourd'hui, sont dues à des Anglais; mais que l'injecteur est une invention française. Il déclare, du reste, comme nous l'avons dit souvent, depuis 1830, que la machine de Woolf est la première des machines à vapeur.

NOTE N° 3.

De la mesure des volumes d'air qui entrent dans les foyers des chaudières à vapeur, par rapport à la houille brûlée, de leur influence sur le rendement maximum du combustible et de la question de la combustion lente ou vive.

Par M. Émile Burnat, manufacturier à Dornach, près Mulhouse (1).

Nous venons de recevoir de M. E. Burnat, ancien élève de l'École centrale et l'un des associés de la maison Dollfus, Mieg et C^{ie}, communication de recherches très-remarquables, qu'il a présentées à la Société industrielle de Mulhouse, sur la question du tirage, dans les fourneaux à vapeur, et sur les quantités d'air à y introduire, pour obtenir des combustibles le maximum d'effet utile. Nous avons prié M. Burnat de nous compléter le plus possible son travail, en nous donnant les conséquences qu'il en a tirées, pour le maximum d'effet utile du combustible, pour les proportions des grilles et la question de la combustion vive ou lente; enfin pour celle de la fumivorté des fourneaux. Ces dernières observations, quoique rédigées à la hâte, nous permettent d'analyser d'une manière assez complète cet important travail.

On reconnaîtra, en effet, que ces recherches si intéressantes sont entièrement neuves; la mesure des volumes d'air qui entrent dans les fourneaux à vapeur pour brûler les combustibles, n'ayant jamais été l'objet d'aucune observation directe et expérimentale, malgré le haut intérêt de la question, sauf quelques expériences, non publiées, de M. Hirn; les recherches de M. Burnat sont d'ailleurs très-complètes et très-méthodiques.

M. Burnat observe d'abord qu'en Alsace, les rendements des combustibles sous les chaudières ont peu changé depuis trente ans, époque où la Société industrielle de Mulhouse a publié ses premières études. La condition du tirage et des volumes d'air introduits dans les fourneaux à vapeur, doit avoir, suivant l'auteur, une grande influence sur ces

(1) *Bulletin de la Société de Mulhouse*, avril 1858.

rendements, et l'absence de tout travail sur la question de tirage a dû retarder les progrès de la science des fourneaux (1). La mesure de ces volumes présente des difficultés que M. Burnat a levées, en employant d'abord un appareil très-ingénieux de M. Hirn, appareil destiné à donner la pression dans le cendrier, et par suite à calculer les volumes d'air débités; cette pression étant trop faible pour être mesurée directement, avec un manomètre. L'appareil consiste en un gazomètre de 40 centimètres de diamètre, suspendu à un balancier et en communication par un tube avec le cendrier du fourneau expérimenté; un cylindre de 0,35 laisse entrer l'air nécessaire au combustible; en équilibre d'avance, le gazomètre, et quand le fourneau marche, le poids qui doit être ajouté sur le plateau opposé au gazomètre, pour rétablir l'équilibre, est évidemment le poids qui donne l'excès de la pression atmosphérique sur celle du cendrier; voici, du reste, la formule qui a servi à M. Burnat :

$$V = S \cdot 0,9 \sqrt{2g \frac{h \cdot 0,76 (A + 0,0037 t)}{0,0043 B}}$$

V Volume de l'air introduit sous la grille, en mètres cubes.

S Section de l'orifice du tuyau amenant l'air au cendrier, en mètres carrés.

0,9 Coefficient de réduction.

h Différence de pression entre le cendrier et la chambre d'essai, exprimée en colonne d'eau.

B Pression barométrique dans le local des essais.

t Température id.

g Accélération de la vitesse dans la chute des corps.

$$g = 9^m,8088.$$

Cette méthode exigeant des observations délicates, multipliées, et des calculs longs, M. Burnat est revenu à l'emploi de l'anémomètre de Combes, enfoncé à 4 mètre, et dans l'axe du cylindre de 0,35. Cet anémomètre est le n° 432 de Neumann, dont la formule est $V = 0,420 + 430 n$. Les résultats ainsi obtenus ne diffèrent pas de plus de 5 % de ceux de la formule. M. Burnat a fait faire depuis un anémomètre, avec des ailes en cuivre reliées par une cercle métallique

(1) La Société industrielle de Mulhouse, par suite de cette pensée, a ouvert en 1859 un nouveau concours, sur le perfectionnement des fourneaux à vapeur en Alsace, et elle offre un prix de 7,500 fr. à celui qui obtiendra le premier plus de 7 kil. de vapeur par kil. de houille, avec des foyers évaporant 10,000 litres d'eau en douze heures.

très-mince et qui enregistre un million de tours, ce qui permet de ne le sortir que deux ou trois fois dans la journée.

Six fois par jour on faisait quatre essais, dont deux consécutifs, avant une charge de houille sur la grille et deux après; on notait en même temps la température du local, la pression barométrique, et dans les expériences avec l'appareil de M. Hirn, l'excès de la pression extérieure sur celle du cendrier; enfin la température de la fumée après le registre du fourneau.

Les essais sous chaque chaudière n'ont jamais duré moins d'une journée et ont été presque toujours répétés un grand nombre de fois.

La série suivante, que donne M. Burnat, montre quels résultats on obtient, en continuant plusieurs jours consécutifs, des essais faits rigoureusement dans les mêmes conditions :

DATES.	EAU ÉVAPORÉE réduite à 0°, et correction faite du niveau de l'eau.	HOUILLE BRÛLÉE sous les trois chaudières, en douze heures.	AIR INTRODUIT par kilogramme de houille, à 0° et 0°,76.			TEMPÉRATURE MOYENNE de la fumée au sortir des registres.
			CHAUDIÈRES			
			N° 1.	N° 2.	N° 3.	
Lundi 26 juillet.	k. 4,95	k. 6260	m. c. 10,15	m. c. 9,65	m. c. 12,80	345°
Mardi 27 id.	5,18	5905	11,32	9,80	11,35	333
Mercredi 28 id.	4,85	6275	10,91	9,77	12,13	359
Jeudi 29 id.	4,96	6545	11,70	10,03	11,60	385
Vendredi 30 id.	5,09	6270	11,96	10,26	11,00	364
Samedi 31 id.	5,18	6357	12,14	11,09	12,65	373
Moyennes. . .	5,03	6102	11,36	10,10	11,92	359

La houille brûlée était un mélange de houille grasse tout-venant de Sarrebruck, et de houille maigre menue. Les chaudières étaient les mêmes que celles citées dans le tableau n° 2. Les registres étaient tenus entièrement ouverts, sauf à de rares moments; et tels, du reste, que les chauffeurs avaient l'habitude de les manier.

Les auteurs qui ont étudié les questions de *chauffage* ont entière-

ment négligé celle du tirage et des volumes d'air introduits dans les fourneaux.

M. Pécelet (*Traité de la chaleur*, t. I, p. 407 à 413), calcule que pour une houille de composition moyenne et donnant 45 ou 20 % de résidu, la quantité théorique d'air nécessaire à sa combustion est d'environ 9 mètres, et qu'en pratique elle est de 16 mètres; quelques analyses chimiques ayant montré que la moitié à peu près de l'air échappait à la combustion.

Les résultats ci-dessus, dus au calcul seul, ont été acceptés partout, mais ils n'ont jamais été constatés par l'expérience; ils présentent, cependant, un grand intérêt comme question de principes et pour comparer les qualités des houilles les unes aux autres, ce qu'on ne peut pas faire avec certitude des résultats, sans égaliser entre eux les volumes d'air introduits par kilogramme brûlé, volumes ramenés à zéro et à 76 centimètres de pression. Avec le registre ouvert aux trois quarts, ces volumes ne sont presque toujours que de 8 ou 9 mètres cubes : résultat fort éloigné des 16 mètres cubes donnés comme base par les auteurs, et qui n'atteignent que très-rarement 13 et 15 mètres, et cela hors des conditions d'un bon service.

Entre ces limites, il y a évidemment de grandes différences de rendement en vapeur. M. Burnat insiste fortement sur l'importance de ces déterminations, pour résoudre sans crainte d'erreur les questions de rendement des diverses houilles, celles des divers systèmes de chaudières, celle de la combustion lente ou de la combustion vive, etc.

Ces résultats sont constatés de la manière la plus claire par les tableaux qui suivent, tableaux qui contiennent quelques-unes des observations de M. Burnat.

Tableau n° 1.

Chaudières n° 1 et 2, chacune à trois bouilleurs. Nouvelle filature de MM. Dollfus, Mieg et C^{ie}.

Houille brûlée : Sarrebruck pur, tout venant, dit Louisenthal (houille maigre).
Registre : ouvert en moyenne aux trois quarts, et tel que le chauffeur le tient habituellement.

Surface des grilles : chacune 4^m,74; longueur, 4^m,45; largeur, 4^m,48.

Surface des chaudières : chacune 48^m,4. Cheminée : hauteur, 35^m; diamètre au sommet, 4^m.

HEURES des ESSAIS.	NUMÉROS des CHAU- DIÈRES.	TEMPÉRATURE du LOCAL.	CHARGES SUR LE GAZOMÈTRE				MOYENNES
			AVANT LA CHARGE.		APRÈS LA CHARGE.		
			gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
6,00	1	13°,0	21	21,2	16	18,5	19,2
	2		30	27,5	23	23,6	26,0
9,30	1	16°,3	18	18,5	14,8	15	16,6
	2		10,2	10,7	10	10,2	10,3
11,15	1	20°,8	11	11,5	9,5	10,2	10,3
	2		7	7,5	7	7	7,1
1,00	1	22°,6	28	28,5	17,5	17,6	22,9
	2		12	13,5	14	13,9	13,3
4,30	1	23°,2	14,7	15,2	12,5	13,2	13,9
	2		12,5	13,2	10,5	12	12,0
6,30	1	18°,5	9	9	7	7,5	8,1
	2		26	26	22	22	24,0

Volumes d'air introduits par l'ajutage, en moyenne, par seconde : chaudière n° 1, 0^m,430; chaudière n° 2, 0^m,434.

Volumes d'air introduits, d'après la formule, 0^m,420; d'après l'anémomètre, 0^m,436; moyenne, 0^m,428.

Volumes d'air introduits sous les grilles, par kilogramme de houille brûlée, 43^m,69 à 49°,4 c. et 0^m,733 B, et 42^m,32 à 0° et 0^m,76 B.

Essai fait le 28 avril 1858.

Température de la fumée à la sortie des chaudières (moyenne de six essais), 385°.

Houille brûlée en douze heures sous les deux chaudières, 2700 kilogrammes.

Pression atmosphérique moyenne, 0^m,733.

OBSERVATION. Les deux grilles ont été nettoyées vers midi; celle de la chaudière n° 2 vers cinq heures du soir, cette dernière devant marcher durant la nuit.

TOURS DE L'ANÉMOMÈTRE par minute				MOYEN- NES.	VITESSES DE L'AIR DANS L'AJUTAGE d'après		VOLUMES D'AIR INTRODUITS DANS L'AJUTAGE d'après	
AVANT LA CHARGE		APRÈS LA CHARGE			l'anémo- mètre.	la formule.	l'anémomètre.	la formule.
tours.	tours.	tours.	tours.	tours.	m.	m.	mc.	mc.
2325	2630	2058	2242	2314	5,63	5,63 (1)	0,480	0,474
3010	3060	2516	2860	2861	6,32	6,56	0,590	0,551
2388	2396	2135	2220	2285	5,07	5,22	0,473	0,439
1638	1655	1610	1655	1639	3,67	4,14	0,343	0,348
1890	1904	1794	1825	1853	4,13	4,23	0,385	0,356
1485	1320	1474	1475	1438	3,23	3,48	0,302	0,293
3180	2965	2350	2468	2741	6,06	6,27	0,566	0,527
1826	2125	2087	2183	2055	4,57	4,78	0,426	0,414
2015	2130	1930	1925	2000	4,45	4,89	0,416	0,409
1832	1622	1520	1803	1694	3,78	4,55	0,353	0,383
1550	1550	1475	1500	1519	3,41	3,70	0,318	0,311
3000	3000	2700	2700	2850	6,29	6,37	0,587	0,536

$$(1) V = \sqrt{2 \cdot 9,808 \frac{0,00192 \cdot 0,76 (1 + 0,0037 \cdot 43)}{0,0013 \cdot 0,733}}, \text{ d'où } V = 5,63.$$

Tableau n° 2.

Chaudière n° 5, à trois bouilleurs. Ancienne filature de MM. Dollfus, Mieg et C^o.
Houille brûlée : Sarrebruck pur, tout venant, dit Louisenthal (houille maigre).

Registre : ouvert en entier.

Surface de la grille : 4^m,53 ; longueur, 4^m,45 ; largeur, 4^m,05. Cheminée : hauteur, 30^m,60 ; diamètre au sommet, 0^m,95.

Surface de la chaudière : 47^m².

Température de la fumée à la sortie de la chaudière (moyenne de sept essais) : 426°.

HEURES des ESSAIS.	TEMPÉRATURE du LOCAL.	CHARGES SUR LE GAZOMÈTRE				MOYENNES.
		AVANT LA CHARGE.		APRÈS LA CHARGE.		
h.		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
5,45	25°,3	30	37	26	29	30,5
8,45	26°,2	18,7	19,5	17,5	19	18,6
11,10	24°,8	16	16,2	12,5	12,5	14,3
1,30	22°,1	41	44	29	31	36,2
4,00	25°,2	23	24,5	17,5	19	21,0
6,00	23°,8	17,5	18	15	15,5	16,7

Volumes d'air introduits par l'ajutage, en moyenne, par seconde, 0^m³,546, et par douze heures, 22^m³,294.

Volumes d'air introduits : d'après la formule, 0^m³,520 ; d'après l'anémomètre, 0^m³,542 ; moyenne, 516.

Volumes d'air introduits sous la grille, par kilogramme de houille brûlée : 44^m³,40 à 24,5 c. et 0^m³,7023 B, et 9^m³,82 à 0° et 0^m³,76 B.

Essai fait le 1^{er} avril 1858.

Houille brûlée en 12 heures : 4955 kilogrammes.

Pression barométrique moyenne : 0^m,723.

OBSERVATION. La grille a été nettoyée vers midi seulement.

L'air brûlé, provenant de trois chaudières qui consommaient ensemble 3540 kilogrammes, se rendait dans la même cheminée.

TOURS DE L'ANÉMOMÈTRE				MOYEN- NES.	VITESSES DE L'AIR DANS L'AJUTAGE par seconde d'après		VOLUMES D'AIR introduits DANS L'AJUTAGE d'après	
AVANT LA CHARGE		APRÈS LA CHARGE			la formule.	l'anémomètre	l'anémomètre	la formule.
tours.	tours.	tours.	tours.		tours.	m.	m.	mc.
3412	3152	3072	2874	3127	7,25 (1)	6,89	0,644	0,609
2571	2548	2255	2286	2415	5,70	5,35	0,499	0,479
2100	1950	1784	1845	1919	4,97	4,27	0,400	0,412
3145	3475	3095	3298	3253	7,90	7,16	0,669	0,664
2300	2275	2032	1915	2130	6,04	4,35	0,442	0,504
2100	1900	2076	2028	2026	5,04	4,50	0,420	0,451

$$(1) V = \sqrt{2 \cdot 9,808 \frac{0,00305 \cdot 0,76 (1 + 0,0037 \cdot 25,3)}{0,0013 \cdot 0,723}}, \quad V = 7,25.$$

Economie à obtenir par la combustion de la fumée.

Dans une autre note du 27 octobre 1858, M. Burnat a étudié la question de savoir quel est, sous le rapport du rendement du combustible, l'avantage qu'il est possible de retirer, en brûlant la fumée dans les fourneaux. Nous avons dit, il y a longtemps déjà, *Guide du Chauffeur* (t. I^{er}, p. 475), que la combustion de la fumée, loin de donner une économie de combustible, entraînait au contraire une dépense plus grande de chauffage, par suite du volume plus considérable d'air qu'il fallait employer; M. Burnat a traité cette question dans tous ses détails, en analysant et calculant les diverses économies que la combustion de la fumée peut donner, avec des fourneaux ordinaires, et il arrive à conclure, comme nous, que *l'économie à obtenir, par suite d'une combustion complète de la fumée, est très-peu de chose et ne peut guère donner des résultats appréciables.*

Ainsi, d'après tous les essais faits par M. Burnat, soit par la méthode de M. Hirn, soit avec l'anémomètre mis à demeure sur des fourneaux, et restant en travail plusieurs semaines de suite, dans des ajutages aboutissant aux foyers des chaudières, la quantité d'air qui correspond au maximum de rendement, pour une qualité moyenne de houille, est de 8 ou 9 mètres cubes; à zéro de température et à 0,76 du baromètre; ce chiffre ne peut plus être contesté aujourd'hui; mais on doit appeler, sur ces faits nouveaux, l'attention et l'examen approfondi des expérimentateurs qui s'occupent des questions de chauffage, et de tous les ingénieurs que l'École centrale a répandus, depuis trente ans, dans les ateliers.

M. Burnat remarque que ce chiffre n'est pas très-éloigné du chiffre théorique donné par le calcul, comme nécessaire à la combustion d'un kilogramme de houille, en admettant qu'il n'échappât pas d'oxygène à la combustion. On pourrait croire, ajoute-t-il, qu'avec une semblable alimentation, la combustion se fera mal et qu'il y aura un dégagement abondant de fumée; il en est ainsi en apparence: cependant la marche qui donne les meilleurs résultats n'est pas celle qui présente un feu clair et vif, mais bien celle où la combustion est lente, fumeuse et peu active.

Les tableaux suivants, dont chaque essai a duré au moins une semaine, montrent quelle énorme influence l'alimentation de l'air exerce sur le rendement, et comme on arrive aux mêmes résultats, quand on brûle la même houille, sous la même chaudière, dans le même temps et avec des volumes égaux d'air.

La chaudière n° 1 est une chaudière de 5^m,50 de long et à trois bouilleurs, ayant une grille de 4^m,20. Celle n° 2 a également trois bouilleurs, avec une longueur de 9 mètres et une grille de 2^m,03.

Tableau n° 3.

DATES DES ESSAIS.	CHAUDIÈRES EMPLOYÉES.	KILOGRAMMES DE HOUILLE brûlés en moyenne en douze heures.	NATURE DE LA HOUILLE brûlée.	MÈTRES CUBES D'AIR introduits sous le cendrier par kilogramme de houille, à 0° et 0,76 B.	A. RENDEMENT DE LA CHAUDIÈRE en litres d'eau éaporés par kilogramme de houille réduite à 0° c.	NOMBRES PROPORTIONNELS à ceux de la colonne A.
Du 3 au 9 octobre 1858.	chaud. n° 1.	kil. 1549	Sarrebruck très-menu, houille maigre.	mc. 13,07	lit. 4,51	100
Du 11 au 16 id.	id.	1555	id.	13,47	4,69	104
Du 18 au 23 id.	id.	1507	id.	14,78	4,90	108
Du 25 au 30 id.	id.	1403	id.	8,51	5,09	112
Du 3 au 16 novembre 1858.	id.	1318	id.	8,98	5,07	112
Du 16 au 21 id.	id.	1291	id.	12,18	4,89	108
Du 22 au 27 id.	id.	1277	id.	7,83	4,97	110
Du 18 au 23 octobre 1858.	chaud. n° 2.	2000	id.	17,95	4,35	100
Du 25 au 30 id.	id.	2017	id.	15,55	4,69	108
Du 3 au 8 novembre 1858.	id.	2044	id.	14,16	4,86	112
Du 8 au 13 id.	id.	1967	id.	8,30	4,98	114
Du 15 au 20 id.	id.	2001	id.	11,55	4,84	111
Du 6 au 11 décembre 1858.	id.	1723	id.	7,11	4,40	101

Les diverses natures de houilles doivent aussi être brûlées avec des quantités différentes d'air, pour obtenir *le maximum de rendement* : ce qui exige, pour comparer leur valeur, que l'on brûle chacune d'elles dans des conditions toutes pareilles et en mesurant le volume d'air qui lui convient le mieux, au lieu de les brûler simplement dans les fourneaux, pendant un temps plus ou moins long, comme on le fait partout, ou de comparer, tout au plus, leur produit en vapeur.

Quant à la question de LA COMBUSTION LENTE ou de *la combustion vive*, en tenant compte des volumes d'air introduits, M. Burnat a constaté que moins on brûle de houille par heure et par mètre carré de grille, plus le rendement augmente; il n'y a pas d'autre limite que celle de tenir la grille convenablement couverte, pour qu'il n'échappe pas d'air à la combustion et qu'il n'entre pas d'air froid à travers les parties non couvertes de la grille.

Cette limite varie un peu avec les diverses qualités de houille.

Voici un tableau très-concluant sous ce rapport; chacun des essais a duré six jours.

Tableau n° 4.

Houille Louisenthal de Sarrebruck, tout-venant; surface de la grille, 2^m,03; surface de la chaudière, 44^m,20. Chaudière à trois bouilleurs.

EAU ÉVAPORÉE réduite à 0°.	CHIFFRES PROPORTION- NELS.	AIR INTRODUIT à 0° et 0,76 B par kilogramme de houille brûlée.	HOUILLE BRÛLÉE par heure et par décimètre carré de grille.	TEMPÉRATURE MOYENNE de la fumée au sortir des canaux.
kil. 5,13	100	mc. 10,35	kil. 1,46	480°
5,35	104,2	11,03	0,86	393°
5,63	109,7	10,77	0,64	340°
5,79	112,8	11,35	0,43	262°

Il y a beaucoup d'établissements où une chaudière est arrêtée, parce que l'on croit brûler plus, dans deux ou plusieurs foyers poussés doucement, que dans un seul vivement activé; M. Burnat a toujours trouvé de l'économie à faire marcher plusieurs fourneaux, avec un service de

chargement de foyer réglé d'une manière intelligente et en multipliant le nombre des chaudières en feu, pour un travail donné. Il dit avoir même évaporé 7 kil. d'eau à zéro, pour 4 kil. de houille de Ronchamp, en brûlant, sous une grande chaudière de 9 mètres de long, 800 kilogrammes de houille seulement, par douze heures, et réglant convenablement l'alimentation d'air, sans aucune disposition particulière du fourneau.

Le même observateur a fait aussi beaucoup d'expériences pour déterminer les longueurs à donner aux chaudières à bouilleurs, employées presque exclusivement en Alsace; mais ce travail n'est pas encore terminé.

Citons une dernière série d'expériences, faites avec un mélange de houilles de Ronchamp et de Sarrebruck sur l'importante question des foyers fumivores; chaque essai a duré six jours.

Tableau n° 5.

EAU ÉVAPORÉE par kilogramme de houille à 0°.	AIR INTRODUIT par kilogramme de houille à 0° et 0,76.	HOUILLE BRULÉE en douze heures en moyenne SOUS LA CHAUDIÈRE.
kil. 5,45	mc. 11,18	kil. 1530
5,87	9,96	1434
6,00	7,24	1420

Dans le premier cas, avec le rendement de 5,45, c'est-à-dire avec le rendement minimum et le volume maximum d'air, sur 720 minutes d'observations, M. Burnat a trouvé :

Fumée nulle ou incolore,	minutes 433
Fumée légère,	133
Fumée noire,	144

Dans le troisième cas, avec le rendement maximum de 6 kil. de vapeur et le volume minimum d'air, sur 720 minutes, on a eu :

Fumée nulle ou incolore,	minutes 272
Fumée légère,	240
Fumée noire,	208

M. Burnat m'envoie en même temps des observations faites par M. Adolphe Hirn, de Colmar : le savant auteur des mémoires sur les frottements des huiles, sur les enveloppes des machines à vapeur et sur *la vapeur surchauffée*, a fait, il y a longtemps, un assez grand nombre d'expériences sur la question que M. Burnat a étudiée, et il est arrivé aux mêmes résultats.

En 1843, par exemple, avec de l'eau d'alimentation chauffée dans la cheminée, et en brûlant par heure les mêmes quantités de houille de *Sarrebruck en morceaux*, sous une même chaudière, M. Hirn produisait 6 kil. de vapeur par kilogramme de houille, quand le volume d'air introduit était de 44 mètres cubes, et il n'obtenait que 5,80 kil. quand le volume d'air était de 15 mètres.

Dans le premier cas, la fumée était toute noire et la température de la cheminée atteignait 80 degrés, au plus.

Dans le deuxième cas, la cheminée ne fumait pas et la fumée avait 200 degrés environ.

Ajoutons que M. Hirn n'a jamais rien publié de ses recherches et que, par conséquent, l'honneur d'avoir abordé et résolu cette belle question, d'une manière aussi complète, appartient à M. E. Burnat.

Celui-ci résume ainsi, dans une lettre, les résultats et les faits qui ont fait l'objet de ses travaux.

Il y a une différence considérable, qui peut atteindre jusqu'à 20 et 25 p. 100, dans le rendement obtenu avec un kilogramme de houille, suivant les quantités d'air employées pour la combustion de cette houille.

Dans la presque totalité des chaudières adoptées aujourd'hui, les quantités d'air introduites sous le foyer, par kilogramme de houille, varient dans toutes les proportions et du simple au double, depuis 8 mètres cubes et même moins, jusqu'à 47 mètres et au delà, sans que l'on paraisse se préoccuper nulle part d'assurer aux foyers une alimentation convenable. La quantité d'air qui paraît convenir au maximum de rendement est de 8 à 9 mètres cubes, au lieu de 16 mètres cubes admis par Péclot.

Des essais entrepris sur des chaudières à vapeur ne sauraient avoir aucune valeur sérieuse, pour comparer, à un point de vue quelconque, leurs résultats entre eux, lorsqu'on ne tient pas rigoureusement compte de l'alimentation de l'air, ainsi que l'on a toujours négligé de le faire, jusqu'ici.

Il n'y a pas une économie appréciable à réaliser au moyen de la combustion de la fumée, en admettant même que cette combustion ait lieu, dans des conditions qui n'admettent aucune cause de perte, telles que excès d'air, injection de vapeur, etc.

Lorsqu'on tiendra enfin compte de l'alimentation de l'air dans les

foyers, on pourra se mettre aisément d'accord sur des questions bien controversées et insolubles aujourd'hui, par ce seul motif, inexplicable, que, lorsqu'on faisait des essais sur les chaudières à vapeur et sur la combustion de la houille, on négligeait de tenir compte de la quantité d'air employée. Ainsi l'on pourra arriver alors à une opinion uniforme, sur la quantité de houille à brûler par heure, par unité de surface de grille et par chaudière; on pourra également déterminer d'une manière certaine la valeur de diverses houilles brûlées sous une même chaudière.

NOTE N° 4.

**Régulateur électrique du niveau d'eau des chaudières
des machines à vapeur.**

Par M. Achard.

Les propriétés si précieuses des courants électriques, de fournir instantanément une force agissant en un point déterminé, ont fait penser à leur application, dans une foule de circonstances. Le prix trop élevé du travail mécanique produit à l'aide de l'électricité, qui, dans les appareils les plus parfaits trouvés aujourd'hui, est encore cinquante fois plus élevé qu'avec les machines à vapeur, ne permet pas d'espérer de ces applications directes de résultats utiles pour la pratique : d'autant plus que les derniers progrès de la théorie de l'équivalence des puissances de la nature indiquent que jamais on ne produira avec des acides et du zinc, c'est-à-dire avec des corps très-chers à préparer, des réactions chimiques, et par suite des forces électro-motrices, capables d'engendrer un travail qui puisse être comparé, au point de vue de l'économie, avec celui qui résulte de la combustion du charbon de terre.

Tous les systèmes dans lesquels on a cherché à effectuer un travail considérable par l'électricité n'ont pas réussi et ne pouvaient pas réussir; mais il n'en est pas de même de ceux dans lesquels on demande à ce précieux agent, non plus de l'économie, mais de la précision, de l'instantanéité d'action. Telle est la voie qu'a suivie avec raison M. Achard, et qui l'a conduit à un régulateur électrique du niveau d'eau des chaudières à vapeur, appareil qui peut rendre de grands services, comme moyen de sécurité contre les explosions et pour resserrer dans des limites très-

rapprochées les variations du niveau des chaudières. A cet effet, il charge la machine de conduire le robinet de distribution, et le moteur électrique n'a d'autre fonction que de relever au besoin un cliquet, à l'aide duquel la machine à vapeur met en mouvement ce robinet. C'est ce que montrera la description de l'appareil ; faisons d'abord comprendre le principe qui en assure le succès, et que M. Tresca a parfaitement mis en lumière dans un excellent rapport fait à la Société d'encouragement, sur l'appareil de M. Achard ; expliquons aussi les diverses formes que lui a successivement données l'inventeur.

Celle qui a reçu aujourd'hui la sanction de l'expérience est la suivante :

Un levier mis en mouvement par la machine à vapeur porte deux électro-aimants opposés l'un à l'autre et qui reçoivent leur activité de deux piles différentes. Ces piles, composées chacune de deux éléments de Daniel, se chargent à l'eau simple, sans acide.

L'action de chaque pile arrive à son électro-aimant, au moyen d'un conducteur qui passe par l'extrémité d'une aiguille mise en mouvement par un flotteur très-sensible installé sur la chaudière, de sorte que, selon que le flotteur conserve sa position normale ou s'en écarte, des parties conductrices, ou isolantes, établissent ou interrompent le circuit.

Les électro-aimants agissent sur deux cliquets opposés qui, changeant de position suivant qu'ils restent libres ou qu'ils sont sous l'influence du magnétisme développé, et oscillant avec le levier qui les supporte en même temps qu'il porte les électro-aimants, font tourner les dents d'une roue, et, par cet intermédiaire, conduisent le robinet d'alimentation. Lorsque le niveau baisse, le robinet s'ouvre ; il se ferme, au contraire, lorsque le niveau monte, et il est impossible au niveau de varier de plus d'un centimètre, entre ses deux limites *maxima* et *minima* ; de plus, une sonnette d'alarme prévient, au besoin, par son bruit continu, le chauffeur ou le mécanicien, lorsque les limites normales sont dépassées.