



*Section de l'Ingénieur.*

---

ÉD. SAUVAGE

---

**MOTEURS**

**A VAPEUR**

GAUTHIER-VILLARS ET FILS

G. MASSON

GAUTHIER-VILLARS ET FILS ET G. MASSON  
LIBRAIRES-ÉDITEURS.

---

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE  
DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

M. H. LÉAUTÉ,

Membre de l'Institut.

---

300 VOLUMES ENVIRON, PETIT IN-8, PARAISSANT DE MOIS EN MOIS.

Il sera publié 30 à 40 volumes par an.

---

*Chaque volume est vendu séparément :*

Broché..... 2 fr. 50 c. | Cartonné, toile anglaise.. 3 fr.

*Le prospectus détaillé de l'Encyclopédie est envoyé franco sur demande.*

---

Cette publication, qui se distingue par son caractère pratique, reste cependant une œuvre hautement scientifique.

Embrassant le domaine entier des Sciences appliquées, depuis la Mécanique, l'Électricité, l'Art de l'Ingénieur, la Physique et la Chimie industrielles, etc..., jusqu'à l'Agronomie, la Biologie, la Médecine, la Chirurgie et l'Hygiène, elle se composera d'environ 300 volumes petit in-8.

Chacun d'eux, signé d'un nom autorisé, donne, *sous une forme condensée*, l'état précis de la Science sur la question traitée et toutes les indications pratiques qui s'y rapportent.

La publication est divisée en deux séries : **Section de l'Ingénieur**, **Section du Biologiste**, qui paraissent simultanément depuis février 1892 et se continuent avec rapidité et régularité de mois en mois.

Les Ouvrages qui constitueront ces deux Séries permettront à l'Ingénieur, au Constructeur, à l'Industriel, d'établir un projet sans reprendre la théorie; au Chimiste, au Médecin, à l'Hygiéniste, d'appliquer la technique d'une préparation, d'un mode d'examen ou d'un procédé sans avoir à lire tout ce qui a été écrit sur le sujet. Chaque volume se termine par une Bibliographie méthodique permettant au lecteur de pousser plus loin et d'aller aux sources.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉS

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

SAUVAGE — Types de moteurs

1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie  
scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien  
élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général,  
46, rue Jouffroy (boulevard Malesherbes), Paris.*

N° 22 A.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

---

LES DIVERS TYPES

DE

MOTEURS A VAPEUR

PAR

ED. SAUVAGE

Ingénieur des Mines



PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

Quai des Grands-Augustins, 55

G. MASSON, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)



## CHAPITRE PREMIER

---

### CLASSIFICATION DES MOTEURS

**1. Modes divers de classification.** — La classification des types si nombreux de moteurs à vapeur est difficile, car certains types sont à la fois fort différents dans l'ensemble et fort analogues par certains détails; plusieurs machines de genres très divers servent au même usage, et le même appareil reçoit des applications variées.

L'ancienne division en machines à basse, moyenne et haute pression, c'est-à-dire recevant la vapeur à une pression absolue voisine de l'atmosphère, de 2 à 4 atmosphères, de 5 à 8, n'est plus utile, car on ne trouve pour ainsi dire

plus de basse pression et l'on se rapproche presque toujours de la haute pression ancienne, fréquemment dépassée.

L'emploi ou l'absence de la condensation ne constitue pas non plus une distinction importante, car la plupart des machines marchent avec ou sans condenseur, qui peut être séparé des machines et même servir à plusieurs.

Pour l'étude théorique, la classification générale la meilleure tient compte du nombre de cylindres successivement traversés par la vapeur : on distingue les machines monocylindriques, à un cylindre ou à plusieurs cylindres séparément alimentés par la chaudière ; les machines à deux cylindres successifs, dites « compound » lorsque la vapeur s'échappe du premier cylindre dans un réservoir qui alimente le second, et « Woolf » quand la vapeur passe directement d'un cylindre dans l'autre, par le jeu d'un organe commun de distribution ; enfin les machines à triple et quadruple expansion, c'est-à-dire à trois ou quatre cylindres successifs, avec deux ou trois réservoirs intermédiaires. Les machines monocylindriques, sauf l'importante exception des locomotives et de quelques appareils analogues, emploient généralement la vapeur à une pression ne dépassant guère 8 ou 9 kilogrammes par



centimètre carré et souvent bien inférieure : car la grande pression, pour être avantageuse, demande une grande détente, difficile à réaliser économiquement dans un seul cylindre ; au contraire, les machines à deux ou plusieurs expansions permettent l'emploi de pressions plus élevées avec détente suffisante. Mais pour l'étude des applications de la machine à vapeur, la division suivant le nombre de cylindres successifs est trop générale.

La nature des mécanismes de distribution permet d'établir des catégories plus nombreuses : c'est ainsi qu'on trouvera d'abord la grande classe des machines à tiroir, subdivisée suivant le mode de commande du tiroir, par un excentrique unique, par une coulisse ou un mécanisme équivalent, par un excentrique à calage variable ; on distinguera encore les tiroirs plats, du type ordinaire, ou avec dispositions spéciales (à double orifice, à canal, etc.) ; les tiroirs cylindriques ; les tiroirs divisés ; les distributeurs oscillants (sans dé clic). Vient ensuite la catégorie des machines à dé clic, soit avec distributeurs Corliss, soit à soupapes, soit à tiroirs plans ; puis celle des machines à distributeurs animés d'une rotation continue ; et enfin quelques catégories bien tranchées, machines à mouvement rectiligne

non transformé, à distribution par le jeu même des organes moteurs (machines rotatives), etc. Le classement d'après la nature de la distribution a l'inconvénient de séparer des appareils analogues par leur aspect général et par leur destination, et de réunir des machines fort différentes par tous leurs autres caractères.

**2. Classification adoptée.** — La classification que nous suivrons tient compte à la fois des dispositions cinématiques, de la vitesse de rotation, et de la destination des machines, et non d'un caractère unique; nous formerons neuf grandes catégories :

A. — Grands moteurs d'ateliers, dont le nombre de tours par minute ne dépasse guère 100;

B. — Moteurs à moyenne vitesse, (200 tours environ au plus);

C. — Machines à grande vitesse, employées surtout pour l'éclairage électrique; la division entre les classes B et C est souvent peu marquée; de même, la limite entre A et B n'est pas nette;

D. — Locomobiles et machines demi-fixes;

E. — Machines pour applications spéciales, telles qu'extraction et épuisement dans les mines, élévation d'eau, compression de l'air, laminage;

- F. — Locomotives ;
- G. — Machines marines ;
- H. — Machines spéciales et diverses, rotatives, à réaction, servo-moteurs, etc. ;
- I. — Machines à vapeurs autres que celle de l'eau.

Nous subdiviserons ces neuf catégories comme il suit :

A. — *Grands moteurs d'ateliers :*

- a. — Machines à balancier ;
- b. — // horizontales à un cylindre ;
- c. — // // à deux cylindres sur deux manivelles ;
- d. — // // à cylindres en tandem ;
- e. — Types divers.

B. — *Moteurs à moyenne vitesse :*

- f. — Machines horizontales ;
- g. — // verticales ;
- h. — // pilon.

C. — *Moteurs à grande vitesse :*

- i. — Machines horizontales ;
- j. — // verticales ;
- k. — // pilon ;
- l. — // à simple effet.

D. — *Locomobiles et machines demi-fixes :*

- m. — Machines horizontales sur chaudière, locomotives routières, etc ;
- n. — Machines horizontales sous chaudière ;
- o. — // de petite puissance ;
- p. — Moteurs de treuils, grues, etc.

E. — *Machines pour applications spéciales :*

- q. — Machines d'extraction ;
- r. — // d'épuisement ;
- s. — // élévatoires ;
- t. — // soufflantes, compresseurs ;
- u. — Machines de laminoirs ;
- v. — Marteaux pilons ;
- w. — Applications diverses.

F. *Locomotives :*

- x. — Locomotives à deux cylindres séparés ;
- y. — // compound.

G. — *Machines marines :*

- z. — Machines à roues ;
- aa. — // pilon, simples et compound ;
- bb. — // pilon à plusieurs expansions ;
- cc. — // horizontales ;
- dd. — // de torpilleurs.

H. — *Machines spéciales et diverses :*

- ee. — Machines rotatives ;
- ff. — // pseudo-rotatives ;
- gg. — // à réaction ;
- hh. — Pulsomètres, injecteurs ;
- ii. — Servo-moteurs.

I. — *Machines à vapeurs autres que celle de l'eau :*

*jj.* — Machines à vapeurs combinées :

*kk.* — " à pétrole.

On peut faire entrer dans ce cadre presque tous les moteurs, mais plusieurs groupes doivent être subdivisés.

---

## CHAPITRE II

—

### GRANDS MOTEURS D'ATELIERS (A)

**3. Machines à balancier (a).** — La machine à balancier est employée comme moteur d'ateliers depuis un siècle : elle dérive des premiers appareils à vapeur pour l'épuisement des mines, bientôt vieux de deux siècles. On voit encore, en service, des machines à balancier, mais on n'en construit plus guère, sauf pour des applications spéciales rangées dans d'autres classes. L'excellent service de ces moteurs et leur faible usure tiennent surtout à l'emploi de pressions et de vitesses de rotation modérées plutôt qu'au système même, et l'on ne justifierait guère aujour-

d'hui l'emploi d'un mécanisme aussi compliqué pour la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en rotation de l'arbre. En outre, il est difficile d'avoir un support bien rigide pour les tourillons du balancier, et d'éviter les vibrations des parties supérieures de l'appareil. L'effort variable supporté par les tourillons atteint, pendant la course descendante du piston, deux fois la pression de la vapeur sur le piston, augmentée du poids du balancier et de son attirail : nous supposons égaux les deux bras du balancier et nous calculons la charge comme à l'état statique, ce qui est admissible pour une machine à marche lente.

Comme le disait en 1875, avec son sentiment si net de la pratique, Callon dans son *Cours de machines* (t. II, p. 301), après avoir décrit les nombreuses installations de machines à balancier dans les grands établissements de la Seine-Inférieure, du Nord, de l'Alsace : il ne semble pas impossible de réaliser encore un certain progrès, en remplaçant les cylindres *accouplés* par les cylindres *combinés*, et le système à balancier par la connexion directe. On ne perd rien par là sur le travail théorique de la machine, on diminue le prix d'établissement et l'encombrement, directement par cette suppression du balan-

cier et de ses accessoires, ou indirectement par la vitesse notablement plus grande et les dimensions moindres que permet cette suppression.

La machine à balancier est soit à un cylindre, soit à deux cylindres conjugués du type Woolf. Les tiges de piston sont guidées par le parallélogramme, ou bien, aux Etats-Unis, à l'aide de glissières. La distribution est effectuée à l'aide de tiroirs plans ou Corliss ou de soupapes, avec des variétés nombreuses. Parfois deux machines semblables sont accouplées sur le même arbre, comme les grandes Corliss de l'Exposition de Philadelphie en 1876, qui conduisent aujourd'hui les ateliers Pullman.

**4. Machines horizontales à un cylindre** (*grands moteurs; b*). — Les machines à un cylindre horizontal, faisant 50 à 100 tours par minute, sont celles qu'on emploie le plus fréquemment comme moteurs de quelque importance. Le cylindre doit être solidement relié au palier de l'arbre moteur, par le bâti. Dans les machines anciennes, le bâti est souvent une plaque de fondation sur laquelle sont boulonnés cylindre et palier. Mais on préfère aujourd'hui le bâti à bayonnette, boulonné sur le fond du



cylindre et la face du palier qui se regardent. Le second palier, à l'autre extrémité de l'arbre, ne supporte guère que des pressions verticales : il pose sur la fondation sans être directement relié au reste de la machine, dont le sépare la fosse du volant.

On munit parfois le piston d'une contre-tige, pour éviter l'usure inégale du cylindre : mais si les surfaces frottantes sont suffisantes, cette inégalité est insignifiante. La contre-tige sert souvent à la commande de la pompe à air d'un condenseur placé derrière le cylindre. Cette disposition, fréquente aujourd'hui, augmente notablement la longueur de la machine, inconvénient que n'a pas le condenseur placé en contre-bas : mais la commande de la pompe est plus facile et les fondations sont plus simples ; pour éviter toute chance d'introduction d'eau dans les cylindres, il convient toutefois que l'eau soit aspirée dans le condenseur : un petit jet auxiliaire sous pression sert pour l'amorçage.

La distribution dans ces moteurs se fait à l'aide de mécanismes variés, notamment par tiroirs superposés, des systèmes Meyer ou Rider, ou par tiroirs plans à dé clic ; plus souvent aujourd'hui par distributeurs oscillants à dé clic ; par soupapes à dé clic ; par robinet à rotation continue (Bié-

trix), etc. Pour ces moteurs à un cylindre, une admission maxima pendant les quarante centièmes de la course suffira presque toujours, de sorte que les mécanismes Corliss originaux, qui ne permettent pas de dépasser cette admission, conviendront aussi bien que d'autres. L'absence de compression dans ces machines Corliss a l'inconvénient de soumettre l'appareil à un choc, presque toujours sensible à l'extérieur du cylindre, au moment de la brusque admission de la vapeur avec toute sa pression sur le piston. Cet effet est atténué par l'emploi de petits diamètres avec longues courses. Le travail d'entretien des organes nombreux des machines à distributeurs séparés et à déclenchement n'est pas considérable, car l'usure est faible et porte sur des parties de petite dimension faciles à remplacer. Ces machines ont l'avantage d'avoir le plus petit cylindre possible pour un travail donné avec un degré de détente déterminé.

**5. Machines horizontales à deux cylindres sur deux manivelles** (*grands moteurs; c*). — Une machine à un cylindre avec grande détente et faible vitesse de rotation exige, si l'on veut une marche régulière, un volant considérable,

qui consomme en frottements une puissance notable. Ce serait, pour un volant de 20000 kilogrammes, faisant 50 tours par minute sur des fusées de 200 millimètres, de 3 à 7 chevaux suivant l'état des surfaces et du graissage.

On régularise beaucoup l'effort moteur en attaquant par deux cylindres pareils deux manivelles à angle droit d'un arbre unique. De grands appareils ont été établis de la sorte, mais dans les constructions récentes, les deux cylindres sont généralement du système compound. Si l'on admet à priori deux cylindres, l'adoption de ce système, avec ses avantages spéciaux, n'entraîne pas une augmentation notable du prix de la machine. C'est seulement lorsque la puissance motrice doit varier entre des limites étendues que les deux cylindres indépendants peuvent être préférables, la marche de la compound devenant alors moins satisfaisante. L'un des avantages, qu'on peut appeler cinématiques, de la compound est l'emploi économique des distributions simples à tiroir ordinaire; mais rien n'empêche de les munir des distributions à dé clic, avec obturateurs oscillants ou soupapes, pour augmenter encore l'économie de vapeur: l'extension des appareils de ce type était remarquable à l'Exposition de 1889. La détente dans le cylindre à

haute pression est généralement variable par l'action du régulateur, et reste fixe dans le cylindre à basse pression, ce qui évite des pertes de surface du diagramme totalisé, mais conduit à une inégale répartition du travail moteur entre les deux cylindres quand on s'écarte trop de la puissance normale de la machine. Pour installer un moteur de ce genre, il convient donc de connaître exactement la puissance qu'on lui demandera habituellement.

**6. Machines horizontales à cylindres en tandem** (*grands moteurs; d*). — L'inégalité de répartition du travail entre les deux cylindres de la compound cesse d'avoir des inconvénients sérieux si les deux cylindres sont placés en tandem, avec tige unique de piston. On obtient ainsi une machine compound qui ne coûte pas beaucoup plus cher qu'une machine à un cylindre équivalent : la compound n'a guère en plus que le cylindre à haute pression, le même mécanisme commandant la distribution des deux cylindres. Ce type en tandem est en faveur surtout en Angleterre; on construit même de grands appareils avec deux groupes compound en tandem attaquant deux manivelles à angle droit d'un arbre unique. C'est toujours la distribution du petit

cylindre qui doit donner une détente variable. Pour la triple expansion avec deux manivelles, on a également un ou deux groupes en tandem, suivant qu'on emploie un seul cylindre à basse pression ou deux demi-cylindres. Enfin la quadruple expansion a été réalisée à l'aide de deux groupes tandem.

Parfois on rapproche les deux cylindres en tandem et on les munit d'un appareil de distribution unique : la machine n'est plus alors du type compound, mais du type Woolf, à transvasement direct de la vapeur. La tige commune doit traverser entre les deux cylindres une garniture intérieure, ce qui donne une petite difficulté d'entretien, à moins qu'on ne recoure à la disposition de trois tiges, dont deux sortent du grand cylindre par la partie annulaire du fond qui dépasse le petit cylindre (complication rarement acceptée). Le robinet tournant de Biérix s'applique à ce genre de machine Woolf en tandem : une partie mobile du boisseau permet la variation de la période d'admission du petit cylindre.

On a même réalisé des combinaisons plus compliquées de cylindres en tandem : telle est par exemple la machine horizontale à triple expansion de Sulzer, où l'on a supprimé les garnitures

intérieures de la tige par l'emploi du simple effet pour les deux cylindres extrêmes, à haute et à moyenne pression. Le cylindre central à basse pression est à double effet : son piston est relié aux deux autres pistons par des tiges annulaires qui remplissent presque entièrement les côtés inactifs des deux premiers cylindres.

**7. Types divers de grands moteurs d'ateliers** (e). — Nous ne pouvons citer toutes les machines qui rentreraient dans notre cinquième classe. Nous signalerons entre autres les machines à triple expansion avec trois manivelles ; celles à deux cylindres inclinés, montés sur un bâti triangulaire, et attaquant une manivelle unique de l'arbre placé au sommet du triangle : les axes des cylindres étant à angle droit, les efforts moteurs se répartissent comme si les axes étaient parallèles et s'il y avait deux manivelles à angle droit. On a aussi placé les axes des deux cylindres des compound à angle droit en montant l'un en pilon et l'autre horizontalement, combinaison coûteuse. On trouve encore quelques machines verticales à connexion directe, le cylindre étant en bas et l'arbre au-dessus. Les cylindres horizontaux des machines compound et à triple expansion sont parfois superposés : une bielle uni-

que s'articule sur une traverse reliant les tiges. Enfin la machine pilon (§ 10) commence aussi à se construire comme grand moteur à marche lente, avec distribution par tiroirs, par soupapes, ou Corliss.

---

## CHAPITRE III

---

### MOTEURS A MOYENNE VITESSE (B)

**8. Machines horizontales (*f*).** — En augmentant la vitesse des machines, on augmente leur puissance pour une dimension donnée du cylindre, et la commande des appareils rapides, notamment pour la production de l'électricité, devient plus facile. Les vitesses du piston ne croissent pas comme les vitesses angulaires de l'arbre, parce qu'on réduit le rapport de la course au diamètre dans les machines rapides.

Les bâtis doivent être très robustes. Souvent ils portent deux paliers symétriques par rapport à l'axe du cylindre, comprenant entre eux un coude de l'arbre, pour équilibrer complètement



les tensions intérieures horizontales de la machine ; souvent aussi le cylindre est monté en *porte à faux*, c'est-à-dire attaché seulement par le fond qui regarde l'arbre : pour un cylindre court, cette disposition est logique. La distribution de ces machines s'effectue d'habitude par un ou deux tiroirs superposés, souvent des systèmes Meyer ou Rider, avec action du régulateur sur un papillon ou sur la détente. Des distributions plus compliquées sont quelquefois en usage, notamment les distributeurs Corliss, montés sans déclié.

Les machines horizontales à moyenne vitesse ont souvent deux cylindres compound. Nous signalerons un défaut que présentent quelquefois des appareils de ce genre, défaut qu'on peut retrouver du reste dans d'autres machines compound : le réservoir intermédiaire, venu de fonte avec les cylindres, entoure le cylindre à haute pression. Cette disposition convient quand ce cylindre est muni d'une enveloppe de vapeur, qui l'isole du réservoir. Mais s'il n'y a pas d'enveloppe, on refroidit le cylindre à haute pression par le contact de la vapeur détendue du réservoir, et les condensations à l'admission en sont augmentées.

**9. Machines verticales** (*à moyenne vitesse ; g*). — Par machines verticales, opposées aux machines pilon, nous entendons celles dont le cylindre est en-dessous de l'arbre. Quand leur longueur totale n'est pas trop grande, ces machines se prêtent facilement à l'attaque directe d'un arbre de transmission : on les dresse contre un mur, ou sur un bâti spécial indépendant (si l'arbre est porté par des colonnes). Deux cylindres avec manivelles à angle droit conviennent mieux qu'un, vu l'absence de volant convenable.

Cette commande des transmissions est commode pour les ateliers de construction mécanique, les moteurs n'occupant qu'un espace insignifiant. Elle est fréquente en Angleterre dans les ateliers de chemins de fer, où on l'établit avec des mouvements de locomotives. Le système compound conviendrait pour ces installations.

**10. Machines pilon** (*à moyenne vitesse ; h*). — La disposition pilon, semblable à celle des machines marines, jouit d'une grande faveur. La machine pilon tient peu de place en plan, repose sur un massif simple de fondations et forme un ensemble compact peu sujet à dislocation. Ce sont surtout les distributions à tiroirs, souvent

cylindriques, qui sont employés sur ces machines. S'il y a plusieurs cylindres successifs, on met fréquemment deux tiroirs superposés ou concentriques au premier cylindre.

Ce genre de machines se présente quelquefois avec un seul cylindre, plus souvent avec deux, généralement compound, sur deux manivelles, ou avec trois sur trois manivelles, pour la triple expansion. On peut aussi former la machine à triple expansion avec deux manivelles seulement, soit d'un groupe tandem et d'un cylindre isolé, soit même de deux groupes tandem, en divisant en deux le dernier cylindre (dispositions de Weyher et Richemond). Dans la machine Quéruel, nous voyons deux manivelles à  $180^\circ$ , disposition que nous retrouverons dans les machines à grande vitesse : elle est adoptée ici pour réaliser la détente Woolf avec un passage très court de la vapeur d'un cylindre à l'autre.

---

## CHAPITRE IV

—

### MOTEURS A GRANDE VITESSE (C)

**11. Considérations générales.** — On a poussé la vitesse des moteurs, surtout pour la commande des machines électriques, jusqu'à 600 tours et plus par minute. On obtient ainsi des appareils puissants sous de faibles dimensions. L'étude de ces appareils doit être faite avec grands soins. On donne aux pièces du mécanisme et surtout aux parties frottantes des dimensions largement calculées, en tenant compte des forces absorbées et restituées par les pièces à mouvement alternatif, forces qui atteignent des valeurs considérables<sup>(1)</sup>. Le graissage doit être assuré par-

---

(1) On trouvera dans les *Annales des Mines*, 9<sup>e</sup> s.,

tout ; enfin l'exécution et le montage doivent être précis, car le jeu des articulations, s'il n'est pas réduit au strict minimum, est une cause de chocs et d'usure rapide.

La grande vitesse angulaire a permis l'emploi, fréquent dans ces machines, de régulateurs installés dans le volant et agissant directement sur l'excentrique du tiroir, qui est équilibré de manière à offrir peu de résistance. Ces régulateurs se présentent sous trois formes principales : le centre de l'excentrique peut décrire un cercle de grand rayon, la poulie d'excentrique pivotant autour d'un centre placé à une assez grande distance : elle est sollicitée dans un sens par une masse qui tend à s'éloigner du centre quand la vitesse angulaire augmente et dans l'autre sens par un ressort : à chaque vitesse correspond une position d'équilibre relatif (dans le volant) du centre de l'excentrique. Comme cas particulier, on obtient un déplacement rectiligne du centre en guidant l'excentrique par des glissières.

Dans les régulateurs du second genre, la poulie d'excentrique, toujours sollicitée en sens contraires par un poids et un ressort, est montée sur

---

t. I, p. 277, une construction fort simple de l'accélération de ces pièces.

une première poulie d'excentrique fixe : le centre d'excentricité décrit ainsi un arc de cercle autour d'un centre voisin, ce qui donne des variations d'avance linéaire du tiroir un peu plus grandes qu'avec la première disposition.

Enfin on fait tourner en sens contraire les deux poulies excentrées, par l'action du système de poids et ressort, ce qui ramène à peu près à une ligne droite la trajectoire relative du centre de l'excentrique du tiroir et donne une distribution à avances linéaires constantes.

Lorsque les machines rapides ont deux manivelles motrices, on préfère les caler à  $180^\circ$  plutôt qu'à  $90^\circ$ , pour réduire les efforts des pièces à mouvement alternatif sur les bâtis.

**12. Machines horizontales** (*à grande vitesse ; i*). — La distribution s'effectue par tiroir ordinaire, et mieux par tiroirs cylindriques avec excentrique à calage variable par le régulateur ; dans la machine Armington et Sims, à un cylindre ou compound avec manivelles à  $180^\circ$ , les tiroirs jouent à frottement doux dans leur logement, sans interposition de segments élastiques. On fait également usage de tiroirs plans divisés, réduits à quatre plaquettes glissant sur deux tables, deux pour l'admission, deux pour l'échappement,

avec excentriques séparés; celui d'admission est à calage variable; telle est la machine *Straight line*, remarquable par son bâti en forme de V, venu de fonte avec le cylindre. D'autres types de la même machine n'ont qu'un seul tiroir. Le distributeur oscillant Proell Doerfel, le tiroir à rotation continue Meyer, muni d'une série de bandes se présentant successivement sur les lumières, et tournant moins vite que l'arbre, sont aussi appliqués pour ces machines.

**13. Machines verticales** (à grande vitesse; *j*). — Les petits moteurs à grande vitesse sont parfois verticaux, avec le cylindre en dessous de l'arbre, notamment dans certains appareils très ramassés pour production d'électricité, destinés au service à bord des navires.

**14. Machines pilon** (à grande vitesse; *k*). — La disposition pilon est fréquemment adoptée pour les moteurs à grande vitesse. Souvent dans ces machines, comme dans certains appareils marins, on remplace les jambages en fonte, d'un côté, et même des deux côtés, par des colonnes en fer plus légères et laissant toute liberté pour la visite du mécanisme. Les systèmes compound et à triple expansion y sont d'un

emploi fréquent. La distribution se fait souvent par tiroirs cylindriques.

**15. Machines à simple effet** (*à grande vitesse ; l*). — Les machines à double effet sont exposées à des chocs provenant du changement périodique du sens de l'effort exercé sur le piston : le choc se produit aux deux têtes de la bielle motrice et aussi dans les paliers de l'arbre ; il prend une violence extrême dans les machines rapides, dès que le jeu de ces articulations augmente. Si la machine est à simple effet, la pression de la vapeur sur le piston, motrice ou résistante, est toujours dirigée dans le même sens ; mais cette condition ne suffit pas pour éviter le changement de sens de l'effort, à cause de la force vive considérable des masses à mouvement alternatif. On étudie aisément cette action en déterminant l'accélération positive ou négative, prise par ces masses quand la manivelle tourne avec une vitesse angulaire uniforme : on en déduit immédiatement la force correspondante qui est absorbée ou restituée. Avec une bielle infiniment longue, cette force passe par un maximum quand le piston est à ses fonds de course, et change de sens au milieu. En tenant compte de l'obliquité de la bielle, on a un



maximum moins élevé au fond de course le plus voisin de l'arbre (qui peut même être un minimum pour une bielle exceptionnellement courte) et un maximum plus fort à l'autre fond de course. Considérons par exemple une machine où le diamètre du piston est de  $370^{\text{mm}}$ , avec une course de 330; si la pression de la vapeur est de  $6^{\text{kg}}$  par centimètre carré, elle exerce au début un effort de  $6000^{\text{kg}}$ . La machine faisant 300 tours par minute, le poids des pièces à mouvement alternatif étant de  $157^{\text{kg}}$ , et la bielle étant longue de  $825^{\text{mm}}$ , les maxima de la force absorbée et restituée par ces pièces sont de 2120 et  $3180^{\text{kg}}$ . C'est lorsque cette force est opposée à la pression de la vapeur, c'est-à-dire quand le piston est voisin du fond de course le plus éloigné de l'arbre, qu'elle peut produire un choc, si elle dépasse cette pression. Pour que cet effet ne se produise pas, il faut que la compression de la vapeur soit considérable, et la pression initiale de la vapeur assez forte. Les machines rapides à simple effet exigent donc une certaine pression minima, facile à calculer dans chaque cas, et elles s'accommoderaient mal de la marche à condensation, qui réduirait trop la pression résistante en fin de la course de retour.

La machine Westinghouse a deux cylindres attaquant des manivelles calées à  $180^{\circ}$ , avec dis-

tribution par un tiroir cylindrique placé entre les deux, et, dans les types plus récents, au-dessus des cylindres ; l'axe de ce tiroir est renvoyé parallèlement à celui de l'arbre. Il est commandé par un excentrique à calage variable par le régulateur, du premier genre. Les deux cylindres peuvent être inégaux et fonctionner avec détente Woolf. Les pistons ont une longue portée sur le cylindre et servent de glissières, la bielle étant articulée directement sur le piston ; enfin, l'arbre de la machine avec ses coudes tourne dans une caisse en fonte, close et partiellement remplie d'huile.

La disposition de la machine complètement enfermée est commune à un grand nombre de types : telle était la machine Brotherhood à deux cylindres Woolf concentriques à simple effet, qui figurait à l'Exposition de 1878 ; la machine Ch. Brown a de même les cylindres concentriques. Dans la machine Newall, la distribution s'effectue par l'oscillation même du tourillon d'articulation de la bielle sur le piston ; ce tourillon est convenablement grossi et présente deux cavités qui mettent en communication une lumière percée au milieu du piston avec deux chambres ménagées dans le corps même du piston, et constamment en communication l'une avec l'admission, l'autre avec l'échappement.

On trouve aussi des machines à simple effet avec pistons en tandem, notamment la curieuse machine Willans, employée fréquemment à la commande des dynamos. Cette machine est à triple expansion avec cylindres superposés ; la vapeur agit au-dessus de chaque piston ; l'espace entre deux pistons successifs sert de réservoir intermédiaire ; un fourreau, qui relie les trois pistons, est percé d'orifices permettant l'entrée et la sortie de la vapeur : un distributeur central, formé d'une tige commandée par un excentrique et munie d'une série de pistons, se meut dans ce fourreau : la distribution s'effectue par le mouvement relatif de ces pistons et du fourreau, et aussi par passage dans les garnitures des orifices du fourreau, passage qui coupe les admissions de vapeur.

---

## CHAPITRE V

---

### LOCOMOBILES ET MACHINES DEMI-FIXES (D).

**16. Machines horizontales sur chaudière; locomotives routières, etc. (m).** — La locomobile proprement dite est montée sur roues; la chaudière est soit du type locomotive, soit cylindrique avec tubes en retour: sur la chaudière, un bâti en forme de selle porte le cylindre qui attaque l'arbre avec volant et poulie de transmission; pour les puissances un peu fortes, il y a deux cylindres, souvent compound. La distribution se fait à l'aide du tiroir ordinaire, ou de deux tiroirs au cylindre à haute pression, souvent du système Meyer; quelquefois par coulisse, avec changement de marche.

La facilité et l'économie d'installation font souvent employer la locomobile comme moteur fixe d'atelier ; alors les roues sont inutiles, l'appareil est disposé pour se poser sur le sol ou sur une légère fondation. C'est la machine demi-fixe, qui dépasse parfois la puissance de 60 chevaux. Ces moteurs commodes, s'ils sont bien construits, dépendent peu de vapeur : la position des cylindres permet une installation très convenable des enveloppes, puisqu'ils peuvent baigner dans la vapeur même de la chaudière ; la suppression des conduites de vapeur a aussi des avantages. Ces machines économiques ont l'inconvénient d'être paralysées par le chômage de la chaudière.

Si l'on relie par une transmission l'arbre moteur aux roues, convenablement construites, la locomobile, munie d'un changement de marche à coulisse, devient la *locomotive routière* et le *rouleau compresseur*.

**17. Machines horizontales sous chaudière (n).** — L'heureux groupement de la locomotive à mouvement intérieur est imité dans les machines de cette classe : au lieu de faire porter par la chaudière le mécanisme, à deux cylindres, simples ou compound, on le place sous le corps cylindrique, sur un bâtis en fonte rectan-

gulaire. L'admission de vapeur se fait encore sans refroidissement, par la boîte à fumée, mais l'alimentation des enveloppes des cylindres est moins simple.

**18. Machines de petite puissance (o).** — Pour les faibles puissances, on fait souvent porter par une chaudière verticale un arbre conduit par un mécanisme dressé contre cette chaudière. La machine est dite portable.

Il existe plusieurs genres de ces petits moteurs étudiés en vue d'une conduite facile et sans danger. Ce sont surtout leurs chaudières qui offrent des dispositions spéciales ; on y emploie aussi la condensation : quant au mécanisme, c'est généralement un cylindre à double effet, quelquefois à simple effet, avec distribution par tiroir.

Ces machines sont souvent verticales ; le cylindre est fréquemment placé dans l'intérieur de la chaudière, au milieu de la vapeur, comme dans les types de Baxter, de Friedrich, de Müller et Klasek ; de Hoffmeister. On trouve aussi les dispositions pilon et horizontale.

La condensation par surface est employée pour plusieurs de ces machines, parfois sans production de vide, afin de ramener à la chau-

dière l'eau distillée et d'éviter les incrustations. Cette condensation entraîne une assez importante dépense quand elle est faite avec l'eau des distributions urbaines.

Nous signalerons l'emploi de vapeur à la pression même de l'atmosphère, de sorte que la chaudière n'est soumise à aucune pression et peut être fermée par un simple couvercle, comme dans la machine Davey : la condensation est alors nécessaire.

Parmi les moteurs de cette catégorie présentant des dispositions spéciales et rarement appliquées, nous citerons la machine Chameroz, où le fond d'un cylindre vertical à simple effet est directement chauffé et où la vaporisation se fait dans le cylindre même : une petite quantité d'eau y est injectée brusquement par une pompe quand le piston moteur est au bas de sa course. La partie chauffée du cylindre est en dessous de la partie alésée, et le piston porte un prolongement en matières non conductrices, qui peut remplir à peu près complètement cette partie chauffée, pour éviter l'exagération de l'espace libre.

Un second moteur Friedrich, dont la puissance descend à 3 ou 4 kilogrammètres par seconde, est monté au milieu d'une petite chau-

dière chauffée au gaz d'éclairage : il n'y a pas d'appareil alimentaire : la charge d'eau de la chaudière suffit pour trois heures. La machine est à simple effet, et la distribution, fort imparfaite, se fait au moyen de soupapes déplacées par le mouvement même du piston.

**19. Moteurs de treuils, grues, etc. (p).** ~  
 Pour la commande de mécanismes tels que grues, treuils, appareils divers de manœuvre, on fait un fréquent usage de petits moteurs à deux cylindres sur manivelles à angle droit, souvent à changement de marche par coulisse. Lorsqu'il y a plusieurs mouvements à produire, comme dans une grue, ou bien on les commande par embrayages à l'aide d'un moteur unique, ou bien on installe un moteur séparé pour chaque mouvement.

Dans cette même classe, nous pouvons ranger les petits moteurs qui servent aujourd'hui à la propulsion des voitures sur routes ordinaires, moteurs remarquables surtout par les dispositions de leurs chaudières.

---



## CHAPITRE VI

---

### MACHINES POUR APPLICATIONS SPÉCIALES (E)

**20. Machines d'extraction (*q*).** — La machine d'extraction peut actionner par engrenages les bobines des cables, mais ce n'est plus guère alors qu'un moteur ordinaire de treuil. La machine d'extraction proprement dite est à connexion directe, avec deux manivelles à angle droit ; elle est munie d'un changement de marche.

Les cylindres, le plus souvent horizontaux, sont quelquefois verticaux ou pilon. La distribution se fait soit à l'aide de tiroirs commandés par coulisse (Stephenson, Gooch, Allan) ou par l'excentrique sphérique Tripier, soit à l'aide de

soupapes, ou de tiroirs Wheelock ; les distributeurs tournants et à dé clic, pourvu qu'ils donnent de grandes périodes d'admission, peuvent être employés. Un servo-moteur est souvent utile pour changer le sens de marche.

La condensation est admissible, avec moteur spécial des pompes du condenseur, qui peut servir à un groupe de machines : on fait rarement cette installation. La dimension des cylindres doit être alors calculée sans tenir compte du vide.

La nécessité du démarrage, dans toutes les positions de la machine et dans les conditions les plus défavorables d'équilibre des cages, conduit à des cylindres de dimensions excessives pour la marche normale, avec des périodes d'admission aussi longues que possible : cette circonstance rend désirable l'emploi de la détente en marche courante, mais cet emploi offre quelques difficultés, facilement surmontables.

La détente peut s'obtenir par le mécanisme même du changement de marche : c'est ce qu'on réalise avec l'arbre à cames de profil variable commandant les soupapes de distribution Aude-mar. La coulisse ne convient guère pour la détente variable dans ces machines, parce qu'elle donne, aux faibles admissions, des compressions

excessives pour ces appareils marchant à pression modérée.

La détente se fait aussi à l'aide de mécanismes commandés par régulateur : on peut reprocher à cette disposition d'augmenter l'admission au moment où le mécanicien ralentit la machine en fin de course : il est vrai qu'il faut bien supprimer toute détente et marcher à pleine admission, avec pression réduite, pour les manœuvres.

Enfin la détente peut être produite par un mécanisme spécial, mis en marche automatiquement pendant la plus grande partie de l'excursion des cages, et cessant d'agir au commencement et à la fin de leur course. Dans le système Guinotte, une distribution à deux tiroirs donne divers degrés de détente variant d'une manière continue et automatique suivant la position des cages et la résistance qui en résulte.

On a rarement construit des machines d'extraction compound, à cause de la difficulté d'obtenir, avec deux cylindres seulement, des efforts de démarrage suffisants dans tous les cas, même en entretenant la pression du réservoir pendant les arrêts. Il en existe cependant, notamment à la mine Calumet et Hecla (Lac Supérieur) et dans le pays de Galles (établies par M. W. Galloway). C'est une application analogue

à celle du système compound aux locomotives, mais avec la circonstance aggravante d'incessants démarrages.

**21. Machines d'épuisement (r).** — Pour l'épuisement des mines, on monte soit une série de pompes en reprise les unes au-dessus des autres en les commandant par une maîtresse tige, soit une pompe unique avec son moteur au fond de la mine, pour refouler l'eau d'un seul jet. Comme disposition particulière du premier système, nous signalerons l'emploi d'une pompe unique au fond du puits, commandée par maîtresse tige. Nous examinerons successivement ces deux types.

**22. Pompes en reprise.** — Le moteur d'épuisement autrefois le plus répandu était la machine de Cornouailles verticale à balancier, avec distribution par soupapes et mouvement rectiligne non transformé : on peut encore voir en marche des machines de ce genre. La maîtresse tige est soulevée par la pleine pression, puis par la détente de la vapeur ; en redescendant, elle refoule l'eau des pompes, l'ouverture d'une soupape d'équilibre laissant passer librement la vapeur d'un côté à l'autre du piston, sauf vers la

fin de la course : la vapeur est alors comprimée au-dessus du piston, ce qui amène au repos le système, qui repart après un arrêt plus ou moins long, lorsque le jeu d'une cataracte permet de nouveau l'ouverture des soupapes d'échappement et d'admission. Les défauts de la machine de Cornouailles sont graves : pendant une course motrice, la résistance, qui est le poids des tiges, est constante, tandis que l'effort moteur diminue si l'on détend la vapeur : l'excès de puissance motrice s'emmagasine en force vive des masses en mouvement, au début de la course, pour être restitué à la fin. Mais le système ne peut sans danger dépasser une certaine vitesse : on est donc conduit à en augmenter la masse, en exagérant le poids des tiges équilibré en partie à l'aide de balanciers. Pour une détente donnée et une vitesse maxima fixée, l'équation des forces vives donne immédiatement le chiffre à prévoir pour la masse totale.

A la descente, la résistance, qui est surtout le poids d'eau soulevé, est à peu près constante comme la puissance, qui doit la dépasser d'une certaine quantité : cette puissance est le poids non équilibré de la tige. C'est cette différence de la puissance et de la résistance qui met en mouvement les tiges, avec leurs contre-poids et les

colonnes d'eau, comme la petite masse additionnelle de la machine d'Atwood met en mouvement les deux masses principales en équilibre. Aussi, de même que dans cet appareil de physique, le mouvement du système sera fort lent, à moins qu'on n'augmente le poids moteur excédant, ce qui est contraire à l'économie, puisqu'il est relevé pour chaque coup de pompe : il est vrai qu'une fraction du travail d'élévation de ce poids excédant est restituée sous forme de vapeur comprimée lors de l'arrêt du système, mais cette fraction n'est jamais bien grande.

On est donc placé entre deux écueils : si l'on veut augmenter la détente, il faut augmenter le poids soulevé et par suite le travail moteur total à fournir par la machine, à moins de se condamner à une lenteur de marche excessive,

Une autre disposition de moteur d'épuisement, qui a les mêmes inconvénients, en principe, consiste à monter le cylindre moteur directement au-dessus de la maîtresse tige, en supprimant son balancier, mais non les balanciers d'équilibre. L'installation du cylindre au-dessus du puits n'est ni très facile ni très commode. L'un ou l'autre type de machine est employé, sans détente et sans contrepoids, pour les épuisements provisoires pendant le fonçage des avaleresses.

Une ingénieuse disposition de balancier d'équilibre, le régénérateur Bockholtz, améliore le fonctionnement de la machine de Cornouailles : un bras perpendiculaire au balancier, bras vertical dans sa position moyenne, porte un poids convenable, qui accélère la descente de la maîtresse tige au début et la ralentit à la fin de sa course : la descente peut être ainsi plus rapide et l'on récupère le travail nécessaire pour l'accélérer au début. Mais pendant la course motrice du piston, il semble que le balancier Bockholtz doive agir à contre-sens, en ajoutant un supplément de travail moteur au moment où la puissance motrice de la vapeur est déjà trop forte : cet inconvénient est évité si le mouvement communiqué au balancier est plus rapide que celui qu'il prendrait sous l'influence de la pesanteur seule : il faut alors lui fournir un supplément de travail pendant cette descente accélérée.

Un perfectionnement important est l'emploi du double effet, qui réduit à moitié environ le volume du cylindre, et le poids moteur de la maîtresse tige, la moitié du travail étant fournie par la vapeur pendant la descente. Les masses additionnelles nécessaires pour la détente peuvent être aussi notablement réduites. Pour le simple comme pour le double effet, le système de

Woolf a l'avantage de donner une détente déterminée avec une moindre variation du travail moteur pendant toute la course.

La distribution différentielle Davey, appliquée à ces machines, combine l'action de la cataracte et celle du moteur lui-même, qui referme l'admission d'autant plus tôt que sa vitesse est plus grande : on évite ainsi les dangers d'une diminution subite de résistance, due notamment au désamorçage d'une pompe. D'importantes machines Woolf, avec cylindres verticaux ou horizontaux et balanciers de renvoi à angle droit, fonctionnent avec cette distribution différentielle.

La grande difficulté de la conduite des machines de Cornouailles vient de l'absence de points d'arrêt pour le piston (sauf des tampons de sûreté qu'on doit éviter de frapper) : on supprime cette difficulté par l'emploi d'un volant : on peut d'ailleurs conserver la marche par intermittence avec un volant paresseux, qui permet les arrêts : ces arrêts doivent se produire non pas rigoureusement aux fonds de course, mais un peu en deçà ou au-delà : le volant a un mouvement oscillatoire d'une amplitude un peu inférieure ou supérieure à  $360^\circ$  : telles sont les machines Kley.

On peut enfin commander une pompe unique,



placée au fond d'un puits, par une maîtresse tige, à l'aide d'un moteur extérieur à rotation continue, pourvu que des contre-poids convenables évitent la transmission du travail par compression de la tige.

**23. Pompes avec moteur intérieur.** — Les pompes avec moteur intérieur se rapprochent beaucoup des appareils élévatoires installés au jour : l'ensemble est seulement aussi condensé que possible, pour se loger sans trop de peine dans les travaux souterrains, et l'amenée de la vapeur, habituellement produite au jour, exige certaines précautions dans l'installation et la purge des conduites. Ces machines ont deux cylindres à double effet commandant deux manivelles à angle droit d'un même arbre (disposition qui permet de beaucoup réduire le volant), et directement attelés aux pompes ; ou bien on emploie les appareils à commande directe, avec mouvement rectiligne non transformé en rotation, appareils moins encombrants dans les mines.

**24. Machines élévatoires (s).** — Pour élever l'eau des villes, on a fait souvent usage de la machine de Cornouailles : mais ses défauts sont

encore exagérés dans ce cas, où il faut substituer aux maîtresses tiges, qui fournissent une partie des poids nécessaires, de lourdes masses en fonte. Les machines Davey à distribution différentielle, dont nous avons cité l'emploi pour l'épuisement des mines, servent aussi comme appareils élévatoires. Une ingénieuse disposition cinématique permet de commander directement les pompes sans volants, sans lourdes masses, tout en réalisant une grande détente, qui se fait en deux cylindres successifs : la liaison des cylindres moteurs et des cylindres résistants des pompes est-elle que les pistons à vapeur aient une vitesse variable, dont le produit par la pression, également variable, soit à peu près constant ; le moteur développe alors un travail uniforme pendant une course, malgré la diminution de la pression de la vapeur qui résulte de la détente. On réalise ce programme en attelant les pistons moteurs et résistants sur un grand plateau manivelle oscillant, dont l'axe ne rencontre pas les axes des cylindres.

Le plus souvent on emploie un moteur ordinaire avec bielle, manivelle et volant, qui commande les pompes par engrenages, ou directement, en tandem. Le moteur fonctionne avec une détente aussi grande qu'on le désire, grâce à l'emploi du

volant ; la seule condition spéciale qu'il doit remplir est de ne pas dépasser une certaine vitesse imposée par les pompes, ce qui conduit à un faible nombre de tours (souvent 20 à 25 par minute) lorsque la commande est directe. Le travail que doit fournir le moteur est bien déterminé : il augmente avec la vitesse, à cause de l'accroissement du frottement dans les conduites. La détente variable, entre des limites rapprochées, peut donc convenir : mais il est inutile qu'elle soit commandée par le régulateur, vu la constance du travail pour une même vitesse. Toutefois cette commande n'a pas d'inconvénients et on en fait un fréquent usage à cause de l'application des machines à dé clic, Corliss, Farcot, Wheelock, etc.

Les installations récentes comportent souvent des machines horizontales, attaquant en tandem des pompes foulantes à double effet : des pompes aspirantes ou nourricières, à axe vertical, prennent leur mouvement sur l'arbre. La machine à balancier, dont on trouve des exemples nombreux, convient bien pour la commande des pompes verticales, mais le balancier et son support forment toujours un ensemble coûteux. Pour les élévations d'importance secondaire, les machines verticales sont d'une installation facile.

**25. Moteurs des pompes d'accumulateur.** — Pour refouler sous un accumulateur l'eau destinée à transmettre la puissance motrice, on emploie souvent deux groupes semblables reliés par deux manivelles à angle droit d'un même arbre; de longues périodes d'admission sont nécessaires, afin que le démarrage soit possible dans toutes les positions, les pompes étant en pleine charge : l'accumulateur ferme l'arrivée de vapeur quand il atteint le haut de sa course, et la rouvre en descendant. La condition du démarrage n'exclut pas l'emploi de deux cylindres compound, si on maintient la pression du réservoir intermédiaire pendant les arrêts ; elle réduit beaucoup l'emploi de la détente dans un seul cylindre : aussi voit-on dans de grands appareils une distribution principale donnant des admissions assez courtes, notamment du système Meyer, et une distribution accessoire avec petit tiroir à grande admission pour la mise en marche ; ce tiroir supplémentaire cesse de recevoir la vapeur dès que la machine est en mouvement.

Les machines employées pour les pompes d'accumulateur peuvent être de types bien différents : dans une vaste installation faite à Londres, ce sont des compound pilon à trois cylin-

dres avec distribution Meyer au cylindre à haute pression.

**26. Irrigations, Dessèchements, etc. —** Pour les irrigations, les dessèchements, l'épuisement des cales sèches, on élève de grandes quantités d'eau à une faible hauteur, à l'aide de roues élévatoires ou de pompes centrifuges. Les roues, tournant lentement, sont commandées par l'intermédiaire d'un harnais d'engrenages ; les pompes centrifuges sont généralement à connexion directe. Les moteurs de ces appareils n'ont guère de dispositions spéciales pour cet usage : il faut seulement qu'ils fournissent un travail variable quand le niveau d'aval ou d'amont change. Les grandes pompes centrifuges installées au Khatatbeh, en Egypte, nous offrent un exemple assez rare d'un axe vertical commandé directement par un grand cylindre à vapeur ; certains ventilateurs de mines sont actionnés de même, par des moteurs moins puissants.

Pour les pompes à incendie, on fait usage soit de moteurs à volant, soit de moteurs à commande directe, à deux cylindres (voir le paragraphe suivant).

**27. Machines à mouvement rectiligne non transformé.** — Les appareils à commande directe n'ont ni bielle, ni manivelle, ni volant, le piston à vapeur poussant directement celui de la pompe. Dans les petits moteurs, on peut faire déplacer le tiroir de distribution par des taquets, contre lesquels bute le tige du piston à fond de course. Mais avec des dimensions un peu grandes, cette disposition simple donnerait lieu à des chocs ou à l'arrêt, si le tiroir était insuffisamment déplacé. Aussi commande-t-on le tiroir par un petit piston auxiliaire, auquel le piston principal distribue la vapeur en manœuvrant un organe de petite dimension. On réunit aussi deux groupe semblables côte à côte, comme dans la pompe Worthington ; le piston d'un groupe commande le tiroir de l'autre d'un mouvement continu, et, quand il passe au milieu de sa course, ouvre l'admission sur l'autre piston, qui est alors à fond de course ; les deux groupes, grâce à cette disposition, croisent exactement leurs mouvements, bien que non reliés directement.

Sous leur forme la plus simple, ces machines à commande directe, n'ayant pas de masses importantes en mouvement, ne marchent guère qu'à pleine pression et, par suite, dépensent

beaucoup de vapeur ; elles ne sont guère admissibles que comme chevaux alimentaires, et encore convient-il de réchauffer l'eau refoulée à l'aide de leur vapeur d'échappement.

Pour réduire la dépense de vapeur des grands appareils, on les a munis de cylindres compound en tandem, chaque cylindre ne fonctionnant qu'à pleine pression, pression de la chaudière pour le premier cylindre, pression du réservoir pour le second : ce travail de la vapeur en cascade réduit la perte. Néanmoins, le travail que pourrait donner la détente dans chaque cylindre est perdu : on peut le recueillir en ajoutant un compensateur, tel que celui des pompes Worthington, compensateur formé de petits pistons hydrauliques qui refoulent l'eau sous pression ou plutôt de l'air comprimé au début de la course, lorsque le travail moteur est excessif, et deviennent moteurs à leur tour à la fin de la course.

La disposition de l'échappement des machines Worthington est intéressante ; la lumière d'échappement est séparée de la lumière d'admission, et ne débouche pas au fond même du cylindre, mais à une certaine distance de ce fond ; le piston vient la masquer un peu avant d'arriver au bout de sa course ; il emprisonne de la vapeur qu'il comprime et qui arrête son mouvement.

Cette compression est utile, mais elle ne doit pas être trop forte ; M. Boulvin fait remarquer, dans son *Cours de mécanique appliquée aux machines* (7<sup>e</sup> fascicule, p. 28), qu'une trop forte compression et l'arrêt brusque qui en résulterait pourraient provoquer la rupture des colonnes liquides et amener des coups de bélier dans les conduites.

Les bonnes pompes à commande directe sont remarquables par la régularité de leur marche, et la facilité de leur fonctionnement à des vitesses variables, souvent assez considérables.

### 28. Machines soufflantes, compresseurs

(t). — Bien des moteurs de souffleries et des compresseurs d'air n'offrent guère de dispositions spéciales résultant de leur application particulière : souvent ce sont des machines horizontales, munies d'un volant, avec commande directe du cylindre à vent monté en tandem ; généralement deux groupes à deux cylindres simples ou de préférence compound attaquent deux manivelles à angle droit. Le volant est utile, parce que le travail résistant croît du commencement à la fin de la course, tandis que le travail moteur décroît par suite de la détente de la vapeur : le cylindre à vent est même un instant moteur



au début, lorsque l'air comprimé dans l'espace libre se détend. Une grande uniformité de rotation est inutile, et même un certain ralentissement en fin de course facilite la fermeture des clapets en temps opportun. Ces machines doivent marcher assez lentement.

Certaines souffleries présentent d'autres groupements de leurs organes : un balancier peut servir à relier les cylindres moteurs et soufflants. Le type vertical est assez répandu : dans la machine Cockerill, le cylindre soufflant est à la partie supérieure du bâtis et l'arbre des volants à la base ; deux cylindres moteurs, du type Woolf, attaquent l'arbre par des bielles en retour. Le type pilon Corliss à triple expansion a été récemment adopté pour des installations considérables.

Le type pilon, avec plusieurs cylindres, se voit aussi dans les compresseurs Brotherhood, où les cylindres à vent sont en tandem, au-dessus de cylindres moteurs, et compriment l'air par reprises successives jusqu'à des tensions fort élevées.

Le type en tandem, à mouvement rectiligne non transformé, est aussi employé pour la compression de l'air ; tels sont les petits chevaux Westinghouse pour les freins de chemins de fer.

Les moteurs des ventilateurs de mine n'offrent pas de particularités : ils doivent avoir une puissance et une vitesse variables, et surtout être bien simples et exempts de toutes chances d'avaries et d'arrêt intempestif.

**29. Machines de laminoirs (*u*).** — Si le laminoir tourne toujours dans le même sens, le moteur qui l'actionne doit avoir un fort volant : c'est une machine horizontale, simple ou compound, ou bien une machine pilon, qui tient moins de place dans la forge. Le système Corliss est fréquemment employé aujourd'hui pour les machines de laminoirs. Ces moteurs développent souvent une puissance considérable.

Les laminoirs réversibles sont actionnés par un type spécial de machines à changement de marche par coulisse, avec deux cylindres sur manivelles à angle droit, machines remarquables par la rapidité de la mise en train et du renversement de la rotation malgré des dimensions considérables. Un servo-moteur commande l'arbre de relevage ; les tiroirs cylindriques conviennent pour réduire la fatigue de la distribution. Parfois deux groupes compound tandem remplacent les deux cylindres simples.

**30. Marteaux pilons** (*v*). — Le marteau pilon nous montre une des applications les plus simples de la puissance de la vapeur, qui soulève une masse pour la laisser retomber tel est le marteau à simple effet. Dans le marteau à double effet, on ajoute au poids de la masse tombante la pression de la vapeur par dessus le piston.

Le cylindre des petits appareils est porté par un jambage en fonte. Il y a deux jambages, en fonte ou en tôle, pour supporter le cylindre des grands marteaux.

Les organes de distribution, commandés à la main, doivent se manœuvrer aisément ; aussi fait-on usage de soupapes ou de tiroirs cylindriques. Les petits marteaux ont quelquefois une commande automatique de la distribution.

La vapeur travaille seulement à pleine pression dans ces appareils, et avec l'inconvénient d'un énorme espace libre au-dessous du piston, correspondant à l'épaisseur de la pièce forgée. Si le pilon est à double effet, il y a aussi un grand espace libre au-dessus du piston quand on marche à course réduite. Pour économiser la vapeur, on a construit des marteaux à double effet du type Woolf, où la vapeur qui a soulevé le piston vient pendant la descente agir sur un piston supérieur de plus grand diamètre.

**31. Applications diverses** (*w*). — Ce paragraphe pourrait être indéfiniment étendu. Nous mentionnerons par exemple les moteurs des bateaux toueurs, qui commandent un treuil sur lequel s'enroule une chaîne; et ceux des dragues. Ce sont souvent des machines horizontales, car la place ne manque pas à bord pour les installer.

Citons encore les scies à mouvement alternatif, commandées directement par un piston à vapeur, pour abattre et tronçonner les arbres. Ce sont des machines à mouvement rectiligne non transformé, ayant une certaine analogie de principe avec celles étudiées au § 27.

---

## CHAPITRE VII

—

### LOCOMOTIVES (F)

**32. Locomotives à deux cylindres séparés ( $x$ ).** — Considérées seulement comme moteurs, et sans s'occuper de la production de la vapeur, les diverses locomotives à deux cylindres séparés présentent peu de différences importantes : les deux pistons attaquent deux manivelles à angle droit d'un même essieu ; la distribution à tiroir simple, commandé par coulisse, doit permettre au démarrage un grand effort moteur, et la puissance comme la vitesse doit varier entre des limites étendues : la locomotive est le type de la machine simple à grande vitesse, à haute pression

et à forte compression. Une particularité des locomotives est la marche fréquente et souvent prolongée sans vapeur, dans des conditions peu favorables, à cause de la communication de l'échappement avec la boîte à fumée. L'injection de vapeur dans l'échappement, les soupapes de rentrée d'air dans la boîte à tiroir atténuent ou suppriment cet inconvénient. Les distributions autres que celle à simple tiroir, soit à tiroirs superposés ou séparés, soit à distributeurs tournants, ou à dé clic, ont été abandonnées depuis longtemps, ou bien n'existent qu'à l'état d'expériences isolées.

Les cylindres sont installés entre deux longerons en tôle, qu'ils entretoisent solidement, ou boulonnés à l'extérieur de ces longerons, qui doivent alors être reliés par des caissonnages en tôle, en fonte ou en acier moulé. N'était le prix plus élevé et la moindre durée de l'essieu coudé, exigé par les cylindres intérieurs, leurs grands avantages les feraient préférer toutes les fois qu'ils sont applicables. Dans la construction américaine, les cylindres extérieurs s'assemblent soit entre eux, soit sur une selle intermédiaire en fonte, qui supporte la boîte à fumée : les longerons sont formés de barres en fer forgé, à section carrée, qui se boulonnent sur les cylindres.

L'appareil de distribution le plus répandu est la coulisse de Stephenson, qui se présente sous trois formes différentes : la première comporte un arc utile compris entre les articulations des deux barres d'excentrique, sans les atteindre ; les bielles de suspension s'attachent à l'une de ces deux articulations : on ne peut conduire le tiroir uniquement par l'une des barres, mais la pièce est fort simple et on donne facilement au coulisseau des surfaces de portée suffisantes. Dans une seconde forme, un peu moins simple, l'arc utile de la coulisse est plus étendu, mais ne passe plus par les articulations des barres, qui sont rejetées en arrière. Enfin la troisième forme, coulisse à deux flasques, satisfait mieux aux conditions théoriques de la distribution ; l'arc utile passe par les deux axes d'articulation des barres et l'on peut amener le coulisseau sur chacun de ces axes, mais la pièce est bien plus compliquée et occupe plus de largeur, tout en ne donnant pas de grandes surfaces frottantes.

Les autres systèmes de coulisses, Gooch, Allan, Walschaert à un seul excentrique, sont aussi d'un emploi assez fréquent, mais pratiquement ne donnent pas une distribution meilleure ni moins bonne : la constance des avances linéaires des systèmes Gooch et Walschaert n'a pas d'a-

vantage réel dans la locomotive : au contraire, l'augmentation des avances, donnée par la coulisse de Stephenson à barres droites, lorsqu'on réduit l'admission, est logique, puisque la réduction d'admission coïncide en général avec une augmentation de vitesse. C'est en somme la commodité d'installation dans chaque cas qui fait préférer tel ou tel système de coulisse : les dispositions de Stephenson, Gooch, et Allan conviennent surtout si les axes des cylindres et des tiroirs sont dans un même plan ; cette dernière est l'une des plus faciles à installer quand on dispose d'une longueur suffisante, car toutes les pièces sont suspendues à un arbre unique de relevage. La distribution Walschaert commande commodément un tiroir monté au-dessus du cylindre ; mais la coulisse de Stephenson est applicable aussi dans ce cas, avec l'arbre de renvoi des locomotives américaines. La distribution Joy, qui a eu une assez grande vogue en Angleterre, convient aussi pour cette position du tiroir ; elle a l'avantage de dispenser entièrement des excentriques, mais avec le défaut, sur les locomotives, de transmettre les oscillations verticales de la machine au tiroir qui se trouve par suite constamment dérégulé.

Le tiroir à canal de Trick est quelquefois ap-



pliqué aux locomotives, sans différence facilement appréciable avec le tiroir ordinaire : on y trouve aussi parfois des tiroirs équilibrés de divers types et des tiroirs cylindriques, qui exigent des soupapes de rentrée d'air.

L'usage de la locomotive à crémaillère commence à devenir assez fréquent : un mécanisme à deux cylindres commande directement ou avec engrenages intermédiaires le pignon qui s'engage sur la crémaillère. Souvent l'appareil est mixte et porte deux mécanismes distincts, un pour les roues à adhérence ordinaire et l'autre pour le pignon.

**33. Locomotives compound (y).** — Longtemps prônée par M. Mallet, la locomotive compound s'est rapidement multipliée depuis quelques années. Sous sa forme la plus simple, elle n'a que deux cylindres ; mais, si les appareils sont puissants, les deux cylindres se logent difficilement entre deux longerons intérieurs, ou, s'ils sont extérieurs, le cylindre à basse pression, placé contre le longeron, présente une saillie excessive. Les deux cylindres se placent sans peine entre deux longerons extérieurs aux roues, quels que soient leurs diamètres.

Un mécanisme spécial est indispensable pour

assurer le démarrage avec un effort de traction assez grand, dans toutes les positions de la locomotive compound à deux cylindres : parmi les nombreux systèmes, nous citerons celui de M. Mallet, qui isole complètement les deux cylindres en donnant un échappement direct au premier, et la valve Worsdell-von Borries, qui empêche seulement la vapeur admise directement au cylindre à basse pression de refluer par l'échappement du cylindre à haute pression.

La disposition à trois cylindres se prête à un arrangement symétrique de la locomotive : le mieux paraît alors d'avoir un cylindre unique médian à haute pression avec deux cylindres à basse pression extérieurs, mais la disposition inverse, celle de Webb, est la plus répandue : deux petits cylindres extérieurs à haute pression commandent un essieu, un cylindre médian à basse pression unique en attaque un autre : la distribution de ce dernier se fait très simplement à l'aide d'un excentrique unique à toc qui donne toujours la même admission, pour les deux sens de marche.

Les types à quatre cylindres sont fort nombreux, et il s'en est récemment produit aux Etats-Unis : les quatre cylindres ou bien forment deux groupes attaquant chacun un essieu,

ou sont par paires avec appareil unique de distribution, c'est-à-dire du système Woolf plutôt que compound. Chaque paire comprend deux cylindres en tandem ou superposés, avec bielle unique.

Les locomotives compound, lorsqu'elles marchent à grande vitesse, ont souvent des compressions exagérées, qu'on évite en donnant aux tiroirs un certain découvert ou recouvrement intérieur négatif, et en augmentant les espaces libres, solution qui n'est pas entièrement satisfaisante.

Les avantages économiques des locomotives compound sur les locomotives ordinaires ont été souvent discutés. Les conditions de travail de ces machines varient tellement que l'économie de vapeur obtenue pour certaines marches de la compound peut disparaître à d'autres moments et être peu importante en moyenne : cela dépend du service habituel de chaque locomotive.

## CHAPITRE VIII

—

### MACHINES MARINES (G)

**34. Machines à roues (z).** — Les roues sont encore employées pour la navigation fluviale et pour les paquebots à courtes traversées.

Aux Etats-Unis, l'ancienne machine à balancier supérieur, et à grande course de piston, placée dans l'axe du bâtiment, est restée en faveur, faveur qui s'explique par la simplicité et le fonctionnement assez économique des machines lentes à grands cylindres. Le cylindre est unique, souvent avec de très grandes dimensions : quelquefois on a deux cylindres Woolf attaquant le balancier. On évite facilement l'arrêt de ces machines aux points morts : cet acci-

dent ne paraît guère se produire aux ferry-boats qui font d'incessants voyages à travers les rivières et bras de mer qui entourent New-York.

La machine à balanciers inférieurs, commandés de part et d'autre du cylindre par deux bielles pendantes, est un type aujourd'hui disparu.

La machine verticale à connexion directe s'installe difficilement au-dessous de l'arbre des roues : il faut réduire beaucoup et la course et la longueur de la bielle. On évite ces inconvénients dans la machine à clocher : la tige du piston est prolongée par un long cadre vertical qui embrasse l'arbre et qui est guidé par des glissières montées sur un support assez élevé ; une bielle en retour descend de la partie supérieure de la tige sur la manivelle et peut avoir la longueur désirable. Le type de la machine à clocher avait à peu près disparu ; mais il vient d'être repris récemment pour un paquebot de la C<sup>ie</sup> du London and North Western Railway, avec un appareil à triple expansion.

Dans la machine à cylindres oscillants, la bielle est supprimée, la tige du piston s'articule directement sur la manivelle, et les cylindres oscillent autour de deux tourillons placés vers leur milieu ; ils sont verticaux dans leur position mo-

enne, le piston étant alors à fond de course. Si l'on considère les pressions latérales qui résultent de l'attaque oblique de la manivelle par la tige, la machine oscillante est comparable à une machine ordinaire où la bielle aurait une longueur un peu supérieure à la distance de l'axe d'oscillation à l'axe de l'arbre. Les tourillons sont creux et munis de garnitures étanches pour l'arrivée et le départ de vapeur : le cylindre porte les tiroirs, dont la commande exige un renvoi spécial, puisque leurs tiges suivent le mouvement d'oscillation.

On a construit un très grand nombre de machines oscillantes, quelques-unes même récemment; cependant c'est un type qu'on ne rencontre plus fréquemment aujourd'hui.

Le cylindre oscillant a été employé autrefois pour des machines fixes, mais c'était s'imposer sans nécessité la sujétion assez grande de l'entretien des tourillons. Ceux-ci avaient même été quelquefois placés à la base du cylindre pour réduire les obliquités de la tige du piston, mais cette position fatiguait beaucoup l'appareil. Le cylindre oscillant n'est plus que rarement employé à terre, pour de très petits appareils.

Dans les constructions récentes, on commande habituellement l'arbre des roues au moyen de cy-

lindres inclinés, ou même horizontaux ; comme les roues ne servent plus que pour la navigation fluviale et sur mer pour des paquebots à courtes traversées, on peut disposer sans trop d'inconvénients d'une place un peu grande pour la machine. La simple détente est rare dans ces appareils, qui ont au moins deux cylindres compound, ou comportent deux groupes compound. La triple expansion y est également appliquée.

La position horizontale des cylindres s'impose dans les bateaux avec roue à l'arrière, qui servent à la navigation fluviale, quand une grande largeur n'est pas admissible.

### 35. Machines pilon simples et compound

(aa). — Pour commander l'hélice, la machine pilon serait exclusivement employée, si l'on ne tenait à placer le moteur en dessous de la ligne de flottaison dans certains navires de guerre. Les machines à cylindres séparés ne se voient plus guère : on trouve encore assez souvent des machines compound à deux cylindres, de construction un peu ancienne, ou bien pour de petits appareils récents, où l'on a cherché surtout la simplicité. La distribution se fait à l'aide de tiroirs ordinaires ou à doubles orifices ; parfois la détente Meyer a été appliquée sur le cylindre

à haute pression, surtout pour faire varier entre des limites étendues la puissance motrice.

On voit enfin encore quelques exemples de la compound à trois cylindres de Dupuy de Lôme, où le cylindre à basse pression est dédoublé.

**36. Machines pilon à plusieurs expansions (bb).** — Le type aujourd'hui général de la machine marine est l'appareil à triple expansion. On le trouve également dans les navires de charge et dans les paquebots rapides. Pour les premiers, on cherche surtout la solidité et la rusticité de la machine ; pour les grands paquebots, il faut atteindre les puissances les plus considérables, sans exagérer les poids et les emplacements. Le type le plus simple est à trois cylindres sur trois manivelles ; la puissance à produire étant à peu près constante, l'étude de la machine peut se faire de manière à bien répartir le travail entre les trois cylindres. Pour la distribution, on emploie de plus en plus les tiroirs cylindriques : on les applique même souvent sur le cylindre à basse pression, pour lequel on a longtemps conservé les tiroirs plans, considérés comme plus étanches. Pour les très grands cylindres, on est conduit à monter deux ou plusieurs tiroirs au lieu d'un seul, afin d'ob-



tenir des sections suffisantes de passage. Les tiroirs sont conduits par un mécanisme de changement de marche : les systèmes sans excentriques, tels que celui de Marshall, sont fort en faveur : cette préférence s'explique par la commodité de l'installation plutôt que par le mérite spécial de la distribution réalisée par un système ou l'autre, fait déjà signalé à l'occasion des locomotives ; pour ne pas trop allonger la machine, mieux vaut placer les tiroirs latéralement : la coulisse de Stephenson n'est pas alors d'une application commode : elle a souvent conduit à l'emploi d'un arbre auxiliaire commandé par engrenages, disposition compliquée.

Les enveloppes (quelquefois supprimées pour simplifier et alléger les machines) ne sont pas toutes alimentées directement par la vapeur de la chaudière, produite à une pression élevée, qui dépasse souvent 10 et 11  $\text{kg}$  par  $\text{cm}^2$ , et doit atteindre 7 à 8  $\text{kg}$ , pour justifier l'emploi de la triple expansion. Cette pression est réduite pour l'enveloppe du dernier cylindre au moins.

Le montage des grandes machines marines doit être fait avec des précautions spéciales : il faut prévoir les dilatations inégales des cylindres, portés à des températures moyennes différentes. Aussi voit-on, dans quelques construc-

tions importantes, les trois cylindres former trois massifs à peu près indépendants l'un de l'autre.

La triple expansion est parfois réalisée dans des machines à cylindres en tandem, la place ne manquant pas en hauteur : on n'a plus que deux manivelles, mais quatre cylindres, le cylindre à basse pression étant divisé en deux ; si l'on conserve trois manivelles, il faut six cylindres, par exemple un à haute pression, deux intermédiaires, et trois à basse pression. L'emploi de plus en plus répandu de la double hélice pour les grands navires réduit la dimension des moteurs et permet presque toujours l'emploi de la machine simple à trois cylindres.

La disposition à quatre cylindres, deux à deux en tandem, se prête bien à l'emploi de la quadruple expansion, dont on trouve quelques exemples.

La quadruple expansion est encore réalisée à l'aide de dispositions variées : nous citerons comme exemple la machine pilon très ramassée de Fleming et Ferguson : les quatre cylindres sont fondus côte à côte et forment un bloc qui se projette horizontalement suivant un carré. L'arbre n'a que deux manivelles calées à  $180^\circ$ , pour équilibrer les pièces à mouvement alterna

tif. Les axes des quatre cylindres passent à droite et à gauche de l'arbre ; deux tiges commandent une même manivelle ; leurs bielles s'articulent sur une traverse triangulaire dont le centre est astreint à décrire un arc de cercle de grand rayon voisin de la verticale : le troisième sommet de cette traverse commande la manivelle de l'arbre ; les deux pistons ainsi réunis n'ont pas exactement le même mouvement. Deux distributeurs cylindriques, pour les quatre cylindres, sont conduits par des coulisses de Stephenson. Des machines de ce type ont été construites pour des puissances atteignant 1500 chevaux indiqués.

**37. Machines pilon pour marine militaire.** — Certains navires militaires, surtout les croiseurs, portent aussi des machines pilon. L'établissement de ces machines est en général plus difficile que pour les navires de commerce, parce qu'on demande d'habitude une marche à outrance et une marche à allure réduite. On trouve difficilement une solution satisfaisante, autre qu'une simple réduction de la pression initiale de vapeur : beaucoup de combinaisons ont été proposées et appliquées, telles que transformation de la machine à triple expansion en

compound, soit pour la marche réduite, en découplant l'un des cylindres, soit au contraire pour la marche à outrance, en admettant directement la vapeur dans le second cylindre comme dans le premier. Dans le premier cas, les usures inégales rendent le raccordement difficile; dans le second, on n'arrive guère à une bonne répartition des efforts.

Une autre difficulté de la construction des appareils de la marine militaire provient de l'extrême légèreté qu'on est souvent obligé de leur donner.

### **38. Machines marines horizontales (cc).**

— La disposition horizontale est adoptée pour abriter les machines contre les projectiles. L'axe de l'hélice coïncidant avec l'axe du bateau, en plan, l'installation d'une machine à connexion directe est difficile, même en inclinant légèrement l'axe des cylindres, et cette machine est forcément très courte, c'est-à-dire avec faible course et bielle de longueur insuffisante. Dans la machine à fourreau, la bielle s'articule sur le piston même, grâce à l'emploi d'une tige creuse de grand diamètre intérieur, laissant une liberté suffisante pour les plus grandes inclinaisons de la bielle : on gagne ainsi beaucoup sur

la longueur de la machine. Les garnitures du fourreau servent de glissières : aussi leur entretien est-il assujettissant ; le fourreau a en outre l'inconvénient de refroidir la vapeur dans le cylindre.

Le piston de la machine à bielle en retour porte deux longues tiges prolongées au-delà de l'arbre de l'hélice et disposées de manière à éviter l'arbre et ses coudes : les extrémités de ces tiges sont réunies par une traverse, sur laquelle s'articule la petite tête de la bielle motrice, qui revient en arrière commander la manivelle, et peut être aussi longue que dans la machine à fourreau ou même un peu plus longue.

Dans les bâtiments à deux hélices, on a plus de facilité pour loger les deux machines entre les deux lignes d'arbres, en inclinant légèrement leurs axes, et la connexion directe est applicable. C'est encore la triple expansion qu'on emploie ; les cylindres ne peuvent être en tandem, et commandent trois manivelles. La distribution reste la même en principe et les variations de la puissance motrice entraînent les mêmes difficultés.

**39. Machines de torpilleurs (dd).** — Pour les torpilleurs, il faut des appareils moteurs extrêmement puissants et légers. Si l'établissement

des chaudières a donné lieu à de nombreuses difficultés, les machines ont au contraire mieux réussi : se sont de petits moteurs piston rapides (300 tours et plus) compound ou à triple expansion : au lieu de jambages en fonte pour supporter les cylindres, on emploie des colonnes en fer ou des bâtis en acier ou en bronze avec tirants en fer. Pour éviter l'excès de compression qui se produit souvent dans les machines à grande vitesse, surtout si l'on veut marcher au cran intermédiaire de la coulisse, M. Normand a disposé des clapets légers qui s'ouvrent de l'intérieur du cylindre dans la boîte à vapeur.

Les petits moteurs des canots sont parfois analogues à ceux des torpilleurs. On en a construit avec des dimensions minimales ressemblant plus à des modèles qu'à des appareils destinés à produire un travail utile.

**40. Généralités sur les machines marines.** — L'extrême importance de la continuité de la marche sans avaries a fait conserver presque toujours, pour les machines marines, la distribution par coulisse et tiroir, qui donne de grands espaces libres et de fortes compressions. Grâce à la combinaison de ces deux effets, leur existence n'augmente pas beaucoup la dépense

de vapeur : mais les cylindres doivent être plus grands qu'ils ne seraient si la distribution se faisait par des organes placés vers les fonds comme dans les Corliss. On pourrait d'ailleurs supprimer les déclics. L'établissement d'une distribution de ce genre, à marche simple et sûre, serait certainement fort avantageuse, et l'on peut s'étonner de voir ce problème aussi délaissé. Nous citerons parmi les tentatives de ce genre les distributeurs tournants Carlyle pour machine Woolf, et l'application du système Wheelock aux Etats-Unis. On a récemment proposé des hélices à ailes mobiles, supprimant le changement de sens de la rotation, ce qui simplifierait beaucoup la distribution des moteurs.

---

## CHAPITRE IX

—

### MACHINES SPÉCIALES ET DIVERSES (II)

**41. Machines rotatives (e).** — Bien des types de machines rotatives ont été imaginés, mais aucun n'est largement entré dans la pratique, et aujourd'hui la recherche d'un moteur rotatif paraît heureusement un peu abandonnée, car cette recherche n'a guère d'intérêt. Le travail de la vapeur ne diffère pas en principe dans une machine rotative et dans une machine à piston, et la machine rotative présente une série de pièces frottantes difficiles à ajuster et à maintenir en état.

Parmi les innombrables variétés de machines rotatives, les unes ont un seul arbre tournant



dans un cylindre, avec cloisons mobiles déterminant des chambres à capacité variable, où se font l'admission, la détente et l'échappement : telles sont par exemple les machines Minary, Pecqueur.

D'autres ont deux axes tournant en sens contraire, comme la machine Behrens ; ces axes portent des pièces qui déterminent, par leur contact entre elles et avec les parois d'une enveloppe fixe, les chambres à capacité variable. Le passage de ces pièces devant des orifices d'admission et d'échappement effectue la distribution de la vapeur.

**42. Machines pseudo-rotatives (ff).** — Certaines machines à pistons, à simple effet, ressemblent en apparence à des machines rotatives et sont commodes pour communiquer une rotation rapide à un arbre pour des services temporaires et discontinus. Telle est la machine Brotherhood, à trois cylindres symétriquement disposés autour de l'arbre ; les trois pistons, à simple effet, attaquent une manivelle unique : c'est l'équivalent d'une machine à trois manivelles à  $120^\circ$  avec axes parallèles des cylindres. Un disque calé sur l'arbre fait l'office de tiroir. La distribution relevée sur une machine Brotherhood est la suivante :

admission, 50 % de la course du piston; détente, 45; échappement anticipé, 5; échappement, 60; compression, 39; admission anticipée 1 %.

Comme il faut que la machine démarre dans toutes les positions, de petits trous du tiroir assurent l'admission lorsqu'elle n'est pas ouverte librement pour l'un des trois cylindres. Quand la machine est en pleine marche, la quantité de la vapeur qui pénètre par ces petits trous pendant la détente est peu considérable. On peut installer sur le même arbre deux groupes semblables de dimensions croissantes, en compound, successivement parcourus par la vapeur.

Les machines de ce genre paraissent peu économiques pour une marche continue.

Dans une classe intermédiaire entre les machines rotatives et pseudo-rotatives, nous rangeons des appareils tels que ceux de Morey, de Briggs, de Carey, où des pistons ordinaires se meuvent dans des cylindres et sont reliés par des bielles à une manivelle. Les axes des cylindres concourent en un même point, par lequel passe un axe de rotation qui leur est perpendiculaire; l'axe de la manivelle des pistons est parallèle à cet axe de rotation et placé à une distance convenable. Si on fait tourner ces deux axes, les pistons se meuvent dans les cylindres.

**43. Machines à réaction (gg).** — Les machines à réaction, autrefois essayées sans aucun succès, parce que leurs dispositions étaient vicieuses, ont récemment reparu, sous forme de turbines à vapeur multiples. Ces turbines se composent d'une série de couronnés mobiles séparées par des distributeurs fixes. Parallèles dans l'appareil Parsons, centrifuges dans celui de Dow, elles ont des sections croissantes d'une manière continue ou par échelons. Malgré une faible différence de pression utilisée par chaque couronne mobile, la vitesse reste encore très grande, et l'appareil tourne avec une vélocité vertigineuse : il fait souvent plus de 10000 tours par minute. On tend d'ailleurs à réduire plus qu'à augmenter sa vitesse angulaire.

L'appareil ne peut servir qu'à la production de l'électricité au moyen d'une dynamo spéciale : la construction d'une bobine parfaitement équilibrée autour de son axe et pouvant résister à de pareilles vitesses est l'une des parties les plus délicates de la construction. La dépense de vapeur dans ces turbo-moteurs n'est pas extravagante : ils trouvent quelques applications à cause de la facilité de leur emploi ; car la construction en est fort difficile. Dans des essais faits à Newcastle et rapportés dans l'*Engineering*

(Janv. 1892, p. 52), on n'aurait pas dépensé plus de 13 kilogrammes de vapeur par cheval-heure électrique : ce chiffre paraît extraordinairement faible.

**44. Pulsomètres, injecteurs** (*hh*). — Les pulsomètres sont des appareils fort simples, d'une application facile, et convenables pour des épuisements et des élévations d'eau temporaires ou occasionnels : tout mécanisme y est supprimé, à l'exception de la petite soupape qui distribue la vapeur dans l'une ou l'autre chambre de l'appareil et des clapets de rentrée d'air, d'aspiration et de refoulement. Comme l'eau est chauffée par la vapeur, la dépense de combustible est d'autant plus forte par cheval en eau élevée que la hauteur de l'élévation est moindre. Si la chaleur communiquée à l'eau élevée n'est pas perdue, comme lorsqu'une locomotive élève l'eau qui remplit son tender, le rendement du pulsomètre est bon.

On peut en dire autant de l'injecteur, qui est une machine élévatrice ne servant guère qu'à l'alimentation des chaudières. Sauf une petite perte par rayonnement et par l'écoulement d'eau chaude à travers le trop plein, l'injecteur est dans ce cas une machine parfaite, puisque toute

la chaleur qu'elle reçoit est, ou transformée en travail, ou communiquée à l'eau refoulée. Mais la perfection apparente de l'appareil disparaît si l'on cesse de pratiquer le procédé barbare qui consiste à jeter dans la chaudière l'eau d'alimentation au lieu de la chauffer méthodiquement aux dépens de la chaleur perdue des gaz de la combustion.

Les injecteurs se divisent en deux catégories principales, suivant qu'ils sont *aspirants* ou non.

L'injecteur se compose essentiellement d'une tuyère conique donnant issue à la vapeur ; cette tuyère débouche dans l'intérieur d'un second cône ayant même axe, dit convergent ou cheminée ; c'est dans cette cheminée qu'afflue l'eau en charge ou aspirée ; de la cheminée s'échappe, avec une grande vitesse, un jet d'eau chaude, qui traverse une chambre dite de trop plein, généralement en communication avec l'atmosphère, puis pénètre dans l'embouchure d'un troisième tube conique, dont la conicité est dirigée en sens inverse, et qui est appelé divergent. Le divergent est relié à la chaudière qu'on doit alimenter par un tuyau muni d'un clapet de retenue, s'opposant à la sortie de l'eau pendant les arrêts ou en cas de raté de l'appareil.

Si le divergent recevait un jet liquide, sans

vapeur non condensée ni air entraîné, il fonctionnerait suivant l'une des lois les plus simples de l'hydraulique : à la diminution de force vive résultant de la réduction graduelle de la vitesse par suite de l'évasement, correspondrait un accroissement de pression.

En réalité, le jet qui entre dans le divergent est loin d'être une colonne liquide pleine, comme le montre l'observation du débit.

Les injecteurs peuvent ne comporter que les trois cônes essentiels, surtout lorsqu'ils ne sont pas aspirants ; ils se réduisent ainsi à un petit nombre de pièces fixes d'une grande simplicité. Les injecteurs aspirants ont, le plus souvent, des cônes ou aiguilles mobiles, qui permettent de faire le vide dans l'appareil à la mise en marche, au moyen d'un petit jet de vapeur.

On recherche surtout dans les injecteurs la simplicité de la construction, la facilité de l'entretien, la commodité de la manœuvre, le fonctionnement avec de l'eau chaude (jusqu'à 50° environ), la marche malgré de grandes variations de la pression dans les chaudières desservies, enfin la variation du débit à volonté entre des limites aussi étendues que possible. Suivant les applications, certaines de ces qualités ont plus ou moins d'importance.

Les injecteurs qui marchent facilement, sans désamorçages, et qui prennent l'eau chaude, ont le plus souvent une cheminée de grande longueur, formée parfois de cônes successifs, sans doute pour obtenir une condensation plus complète de la vapeur avant le passage du jet dans le trop plein. Quelques injecteurs sont doubles, le premier refoulant l'eau dans une seconde cheminée où elle reçoit l'action d'un second jet de vapeur.

La pression de la vapeur qui fait fonctionner un injecteur peut être bien inférieure à la pression du générateur qui doit être alimenté : une remarquable application de ce principe se voit dans les injecteurs à vapeur d'échappement.

**45. Servo-moteurs (ii).** — Dans les servo-moteurs, on ne s'occupe guère de la dépense de vapeur, toujours peu considérable, mais on recherche la précision et la rapidité des mouvements : grâce à la docilité de ces appareils, non seulement ils peuvent remplacer plusieurs hommes, mais ils les remplacent avec grand avantage : aucune hésitation, aucun temps perdu, aucun excès de course n'est à craindre avec un bon servo-moteur. On les applique soit pour manœuvrer certains organes des grandes ma-

chines, principalement les appareils de changement de marche, soit pour des usages spéciaux tels que la commande du gouvernail d'un navire, le pointage d'un canon.

Les servo-moteurs forment deux classes différentes, suivant qu'ils comportent un simple piston avec déplacement rectiligne ou une machine à mouvement de rotation. Dans le premier cas, un piston avec frein à huile ou à glycérine ralentit leur mouvement de manière à ce qu'on les arrête facilement au point voulu ou mieux de manière à ce qu'ils suivent exactement un levier de manœuvre. Dans le second cas, d'ingénieux mécanismes de distribution de leurs deux cylindres avec manivelles à angle droit font tourner leur arbre, dans un sens ou dans l'autre, précisément assez pour qu'ils reproduisent la course donnée à l'appareil de commande.

---



## CHAPITRE X

---

### MACHINES A VAPEURS AUTRES QUE CELLE DE L'EAU (I)

#### **46. Machines à vapeurs combinées (jj). —**

Nous rappelons ici les machines à vapeurs combinées, disparues depuis longtemps, à cause de leur grand intérêt théorique. La vapeur d'eau, vers 60°, cédait sa chaleur, dans un condenseur à surface, à l'éther ou au chloroforme qui se vaporisait, puis, après avoir travaillé dans un cylindre spécial, se condensait vers 30°. L'appareil est assimilable à une machine compound, mais avec l'avantage d'un second cylindre bien plus petit que le premier, vu la tension élevée du li-

guide volatil comparée à celle de l'eau ayant la même température ; on peut considérer la compound comme une sorte de machine à vapeurs combinées, où le même fluide travaillerait dans les deux appareils successifs ; mais la substitution de la vapeur d'eau à la vapeur d'éther dans la seconde machine exige un second cylindre bien plus grand que le premier. En fait, les inconvénients et les dangers de l'éther ou du chloroforme, l'embarras et le prix du second condenseur, les pertes de chaleur lors de l'échange, absorbaient et au-delà le bénéfice du système. Mais si l'on pouvait disposer d'une température très basse pour la condensation, voisine de zéro, il faudrait peut-être revenir aux machines à vapeurs combinées pour utiliser convenablement cette basse température.

**47. Machines à vapeur de pétrole (kk).** — Pour quelques petits moteurs de canot, on fait usage de vapeur de pétrole au lieu d'eau. La condensation a lieu dans des tubes le long de la quille. L'avantage du pétrole est l'emploi du même corps comme combustible et à l'intérieur de la chaudière. On aurait, paraît-il, obtenu le même travail avec un poids de combustible moindre qu'en faisant usage d'eau dans la chau-

dière. Ce fait demanderait à être établi pour des appareils plus importants, et en observant exactement toutes les conditions de l'expérience; mais rien n'autorise à déclarer *a priori* qu'il est inexact ou accidentel.

---

## CHAPITRE XI

---

### DU CHOIX D'UNE MACHINE A VAPEUR

**48. Considérations qui peuvent déterminer le choix.** — Parmi l'immense variété des machines qui diffèrent, soit par leurs dispositions générales, soit par leurs détails, comment reconnaitrons-nous les meilleures ? Laquelle choisirons-nous pour un usage déterminé ? Pourquoi adopterons-nous telle disposition plutôt que telle autre ? L'appréciation exacte du mérite de chaque type de machine est presque toujours impossible, et les éléments qui pourraient décider notre jugement nous font défaut. Si nous envisageons le côté pratique le plus simple de la question, nous voyons que rien n'est plus difficile

que l'achat d'une machine à vapeur : comment se décider entre tous les appareils capables de faire le travail demandé ? Aussi bien souvent ce sont des motifs futiles qui déterminent le choix de l'acheteur.

Deux sortes de considérations peuvent nous guider, d'abord la convenance de la machine pour le service demandé, puis le prix de revient de la puissance motrice. Nous ne devons pas, bien entendu, séparer absolument ces deux côtés de la question : car il y aura parfois avantage à prendre une machine un peu moins commode mais beaucoup moins coûteuse ; néanmoins cette séparation des motifs multiples qui nous guident dans notre choix est utile.

L'étude de la convenance pour un service donné est longue et minutieuse : on n'a souvent pour se décider qu'une impression générale, le sentiment de la valeur de telle ou telle disposition, plus que des preuves précises : nous rappellerons donc en quelques mots les points qu'on doit considérer principalement.

**49. Variations de la puissance.** — En premier lieu, la puissance que doit fournir le moteur à chaque tour ou sera constante, par exemple pour certaines élévations d'eau, ou elle

sera variable entre des limites plus ou moins éloignées. Dans le premier cas, on peut régler les conditions de marche une fois pour toutes et de la manière qui convient le mieux dans le type adopté ; mais si le problème paraît plus simple, il est néanmoins difficile d'en donner une très bonne solution : car la machine, devant fournir un travail exactement déterminé, doit avoir des dimensions ni trop grandes, ni trop petites : on est souvent tenté de pécher plutôt par excès que par défaut de puissance, d'où résulte l'obligation de marcher à pression réduite ou avec une détente exagérée ; c'est un défaut que présentent d'importantes installations de machines élévatoires. Quand la puissance est variable, au contraire, entre des limites qui sont rarement bien précises, la difficulté n'est plus la même, mais il faut combiner un appareil qui ne devienne pas trop mauvais lors des variations les plus grandes : les machines à détentes successives se prêtent moins bien à une grande variation de la puissance par tour que les machines monocylindriques : si une compound à deux cylindres est réglée de manière à ce que chaque cylindre fournisse environ la moitié de la puissance totale, en augmentant le travail, on arrive à le produire presque entièrement dans le cylindre à basse pres-

sion, d'où résultent une fatigue excessive d'une partie de la machine et une grande inégalité d'effort moteur ; on n'évite ce défaut qu'en créant une forte chute de pression à l'échappement du petit cylindre.

Pour les machines à échappement libre, la puissance ne doit pas descendre au-dessous d'un minimum atteint lorsque la détente est poussée jusqu'à la pression de l'atmosphère : une plus forte détente donne un travail résistant vers la fin de la course, travail mesuré par la boucle du diagramme comprise au-dessous de la ligne atmosphérique.

Parfois on demande aussi à une machine de pouvoir produire un grand effort au démarrage, quelle que soit la position où elle est arrêtée : tel est le cas des machines d'extraction, des moteurs de pompes d'accumulateurs, des locomotives.

**50. Variations de la vitesse.** — La vitesse d'une machine doit quelquefois pouvoir changer à volonté, plus souvent être à peu près constante : mais, dans ce cas habituel, les écarts de vitesse admissibles varient beaucoup : le travail des filatures, l'éclairage électrique, demandent une grande régularité : ce ne sont pas tant de

légers écarts de vitesse qui sont surtout à craindre, que les changements brusques : on acceptera facilement une variation un peu étendue, pourvu qu'elle soit fort lente. C'est surtout une question de volants et de régulateurs, mais la multiplicité des cylindres augmente beaucoup la régularité de l'effort moteur.

**51. Facilité de la manœuvre ; continuité de la marche.** — La facilité et la rapidité de la manœuvre ont une importance capitale dans certains cas, comme pour l'extraction des mines. La continuité de la marche, l'assurance qu'aucune avarie ne viendra l'interrompre, sont aussi à considérer : ainsi les machines marines doivent parfois fonctionner des semaines sans arrêt, et tout accident, si léger qu'il soit, y serait fort gênant et même dangereux par le gros temps : certains mécanismes couramment employés à terre sont repoussés par les marins pour cette raison. L'arrêt intempestif d'une machine est d'ailleurs presque toujours fâcheux, et le chômage d'un atelier, ne fût-ce que pendant un quart d'heure, est un dommage important : mais la fréquence des arrêts normaux des moteurs industriels en rend l'entretien facile.



**52. Division et unité du moteur.** — Souvent à terre on a la ressource de monter plusieurs moteurs au lieu d'un seul, comme dans les grandes installations d'éclairage électrique, division qui est opportune pour d'autres motifs. Il convient seulement que la division soit complète et les divers groupes bien indépendants : ainsi l'on voit quelquefois une série de générateurs d'une part, une série de moteurs de l'autre, réunis par un tuyau de vapeur unique : une avarie de ce tuyau paralyse le système entier.

Dans les grands ateliers, dans les manufactures, on peut produire la puissance motrice soit au moyen d'un moteur unique, soit au moyen de machines disséminées. Certaines manufactures fort étendues sont conduites par un puissant moteur central ; inversement, dans les ateliers renfermant des machines-outils extrêmement puissantes, pour le travail des canons, des blindages, on voit souvent un petit moteur indépendant sur chaque outil. Les avantages et les inconvénients de chaque système sont si clairs qu'il est inutile de les exposer ici : en général il ne faut pousser trop loin ni l'un ni l'autre principe.

**53. Sécurité.** — Dans toutes les installations

de machines, il ne faut jamais perdre de vue la sécurité des personnes qui les manient, ou les approchent. Cette sécurité est obtenue, non seulement par la bonne construction de l'ensemble, et la résistance suffisante des organes principaux, notamment des volants ; mais c'est surtout le soin dans les détails qui est important à ce point de vue. Si l'on y songe en faisant l'étude de la machine, on peut dire que les précautions qui garantissent la vie des hommes, et leur évitent des blessures, n'entraînent pour ainsi dire aucune dépense : ce sont des saillies à éviter, des engrenages à loger dans les bâtis de manière à ce qu'ils ne puissent accrocher les vêtements, ce qui vaut toujours mieux que les enveloppes rapportées, enveloppes qu'il ne faut pas bien entendu omettre quand on ne peut faire autrement. Toutes ces précautions de détail ont été l'objet d'études minutieuses et sont indiquées dans les publications de certaines associations d'industriels.

**54. Certitude de la marche.** — L'une des qualités auxquelles les industriels attachent le plus grand prix, et à juste raison, est la bonne marche de la machine, sans arrêts et sans avaries : cette qualité dépend non seulement de

l'étude, mais pour beaucoup de l'exécution. On comprend qu'à ce point de vue les produits de certains ateliers réputés soient choisis de préférence et acceptés presque les yeux fermés. Les moteurs fabriqués en grande quantité et par séries calibrées dans un même atelier offrent de grandes garanties de bonne exécution et de bonne marche, par suite du perfectionnement de tous leurs détails et de la correction successive des moindres défauts révélés par la pratique.

---

## CHAPITRE XII

---

### PRIX DE REVIENT DE LA PUISSANCE MOTRICE

**55. Etablissement des prix de revient.** — Arrivons maintenant à la question du prix de revient. Lorsqu'on veut établir avec précision le prix de la puissance motrice, pour une application déterminée, on trouve souvent des difficultés assez grandes, comme pour faire le bilan de toute opération industrielle un peu compliquée. Ce prix de revient dépend d'éléments qui peuvent varier; l'un des plus importants est la valeur du charbon; la durée du chômage des machines a aussi une grande importance, ainsi que la constance ou la variation de la puissance produite. L'unité dont on

doit chercher le prix est le cheval effectif pendant une heure ; la puissance effective est quelquefois mesurée directement : plus souvent on la déduit approximativement de la puissance indiquée.

**56. Dépenses d'installation.** — Une installation de puissance motrice donne lieu à des dépenses de premier établissement, dont on doit payer l'intérêt et l'amortissement. Ces dépenses comprennent non seulement le prix d'achat des moteurs et générateurs, mais le prix du terrain, des bâtiments, des fondations, du montage, de certaines transmissions exigées par le type de machine, des prises, réservoirs et écoulements d'eau, des terrains et aménagements pour amener et emmagasiner le combustible. Il faut encore tenir compte de l'installation de générateurs ou de moteurs de rechange, qui peut être opportune. La durée de l'amortissement de ces dépenses variera suivant les circonstances : elle sera fort rapide pour certaines installations provisoires, elle pourra être exceptionnellement longue pour des appareils tels que les machines élévatoires des villes. En général, comme pour toute opération industrielle sagement conduite, l'amortissement ne doit pas être trop long, car il faut prévoir les grandes réparations, parfois avec

transformations, par suite d'usure normale ou d'accident; les modifications d'industrie, ou l'apparition de nouveaux types de machines, conduisant au remplacement de celles qui existent.

On peut estimer qu'une grande machine à vapeur, installée aujourd'hui, est destinée à durer vingt à trente années; mais les chaudières devront être remplacées au bout de vingt ans au plus tard; mais la machine et les chaudières recevront dans cet intervalle de grandes réparations. Avec l'intérêt à 5 %, le taux d'amortissement en vingt ans est de 3 %, en vingt-cinq ans de 2 % et en trente ans de 1,5 %. En comptant pour intérêt et amortissement 8 %, du capital de premier établissement, et en comprenant dans cette somme les frais de grande réparation en cours d'exploitation, on sera presque toujours plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité : ce n'est que par suite de nécessités impérieuses qu'on devrait courir le risque d'un moindre amortissement.

On pourrait mettre à part les dépenses du bâtiment des machines et de la cheminée des générateurs, installations qui auront probablement une durée plus longue; mais si l'on ajoute à l'amortissement les dépenses d'entretien de ces bâtiments et leur part d'impositions, on est con-

duit à conserver le même taux que pour le reste. Pour le terrain occupé par les machines, on n'a généralement comme charge annuelle que son loyer ou l'intérêt du prix d'achat, car le plus souvent la valeur du terrain augmente dans les villes industrielles. Nous supposons négligeable l'intérêt du prix du terrain dans les estimations que nous donnons un peu plus loin. Il est facile d'en tenir compte lorsqu'il atteint une valeur exceptionnelle.

La charge annuelle provenant des frais de premier établissement doit être également répartie entre tous les chevaux-heures produits dans l'année.

**57. Dépenses d'exploitation.** — Comme frais directs, la production de la vapeur entraîne d'abord une dépense de combustible : le prix d'achat du combustible doit subir une certaine majoration du fait des manutentions dans l'usine pour l'emmagasiner, puis l'amener aux chambres de chauffe, du déchet qui en résulte, enfin de l'intérêt des dépenses en approvisionnements. Outre le combustible nécessaire pour la vaporisation en marche normale, il en faut aussi une certaine quantité pour les allumages, pour l'entretien des feux pendant les arrêts : c'est une fraction assez importante du total quand la

marché est intermittente. L'eau nécessaire pour les générateurs peut coûter quelque chose ; on dépense aussi des matières diverses, telles que chiffons, désincrustants. Vient ensuite la main d'œuvre des chauffeurs, puis la dépense d'entretien des générateurs, qui est assez importante : il faut faire fréquemment des lavages, visiter et piquer l'intérieur, roder la robinetterie et les soupapes, entretenir les appareils d'alimentation, les grilles, les foyers, etc. ; c'est une dépense de main d'œuvre et de quelques matières.

La machine consommera diverses matières, l'huile de graissage, l'eau pour la condensation, des chiffons et quelques autres fournitures. Il faut aussi la débiter de la main d'œuvre du conducteur, des nettoyeurs, et des ajusteurs qui en font l'entretien et les réparations courantes. Enfin on tiendra compte aussi de l'éclairage des locaux.

Pour une machine en service, il est en général assez facile d'établir le bilan de toutes ces dépenses : plusieurs sont de faible importance. Il est fâcheux que des prix de revient détaillés de la puissance motrice des machines dans diverses circonstances soient si rarement publiés. Ceux qui s'en servent pourraient sans peine établir des prix de revient de ce genre, et leur communication ne soulèverait le plus souvent aucune



objection. Il n'y aurait d'ailleurs pas d'inconvénient à donner des prix fictifs pour les combustibles et la main d'œuvre, pourvu que les quantités indiquées fussent exactes : il serait même commode de les rapporter à des bases convenablement choisies. Il suffirait enfin d'indiquer les dimensions principales et le système de la machine pour la caractériser avec une précision suffisante.

A titre d'indication sommaire, nous donnons quelques exemples du prix de revient du cheval-heure effectif pour des machines de puissances croissantes. Nous supposerons pour chaque machine trois marches différentes, une de 1000 heures par an (3 à 4<sup>h</sup> pendant 300 jours), la seconde de 3000 heures (300 jours à 10<sup>h</sup>) et la troisième de 6000 heures (300 jours à 20<sup>h</sup>).

Nous estimerons le combustible rendu dans la chambre de chauffe à 20<sup>fr</sup> la tonne, sauf pour les plus petits moteurs, où nous le prendrons à 30 et 25 francs. La main d'œuvre des chauffeurs et conducteurs sera comptée à 0<sup>fr</sup>,50 l'heure, l'huile minérale de graissage à 0<sup>fr</sup>,50 le kilogramme.

**58. Prix de la puissance d'un moteur d'un cheval effectif.** — Une machine portable d'un cheval coûtera, installée avec ses acces-

104 PRIX DE REVIENT DE LA PUISSANCE MOTRICE

soires, en y comprenant la petite fraction du local qu'elle occupe, 2000<sup>fr.</sup>. Elle consommera 5<sup>kg</sup> de charbon par heure, plus 10<sup>kg</sup> par jour pour allumage, et 30 litres d'eau par heure, à 10 centimes le mètre cube. La dépense de main d'œuvre peut être estimée à 1, 2 et 4 heures pour des marches quotidiennes de 3, 10 et 20 heures. Le prix de l'huile et des matières diverses sera de 1<sup>cent</sup>, 2 par heure; les frais de menue réparation, de 1<sup>cent</sup>, 5 par heure. La dépense par cheval-heure s'établit alors comme il suit, en centimes :

Nombre d'heures de travail, en 300 jours par an. . . . .	1000	3000	6000
Intérêt et amortissement . . .	16	5	3
Combustible, à 30 francs la tonne.	24	18	16
Main d'œuvre . . . . .	15	10	10
Eau, huile, matières diverses et entretien . . . . .	3	3	3
Totaux. . . . .	58	36	32

**59. Moteurs de 5 et 10 chevaux effectifs.**

— Ces moteurs seront des locomobiles, coûtant, installées, 4000 et 5500<sup>fr.</sup>, et occupant 10 mètres carrés, couverts par une construction de 500<sup>fr.</sup>. On

brûlera par heure 3<sup>kg</sup>,5 et 3<sup>kg</sup> de charbon par cheval, plus 30 et 40<sup>kg</sup> pour l'allumage. On dépensera par cheval-heure 20 litres d'eau à 10 centimes le mètre cube. Nous supposons le conducteur de la machine présent pendant la moitié du temps de la marche et pendant une heure en plus par jour pour la locomobile de cinq chevaux, et occupé au total pendant une durée égale à la marche pour celle de 10 chevaux. Les dépenses de graissage et d'entretien par cheval-heure seront à peu près les mêmes que pour le moteur d'un cheval. La dépense par cheval-heure est alors, en centimes :

Nombre d'heures de marche par an, en 300 jours.	Locomobile de 5 chevaux			Locomobile de 10 chevaux		
	1000	3000	6000	1000	3000	6000
Intérêt et amortissement. . .	7	2,5	1	5	1,5	1
Combustible, à 25 <sup>fr</sup> la tonne. . .	13	10	9,5	10,5	8,5	8
Main d'œuvre. . .	8	6	5,5	5	5	5
Eau, huile, divers, entretien. . .	3	3	3	2,5	2,5	2,5
Totaux. . .	31	21,5	19	23	17,5	16,5

**60. Moteurs de 50 chevaux effectifs.** — Nous examinerons l'emploi d'une machine Corliss avec une chaudière séparée, et celui d'une machine demi-fixe compound, avec et sans condensation. Les dépenses d'établissement s'estiment comme il suit, pour la machine à chaudière séparée :

Machine seule . . . . .	13.500 fr	
Fondations . . . . .	1.500	
Montage . . . . .	700	
Transmission, câbles, etc . . . . .	1.800	
Tuyauterie et annexes . . . . .	2.300	
Divers . . . . .	1.200	
	<hr/>	
Total pour la machine . . . . .		21.000 fr
Chaudière complète installée . . . . .	11.000	
Condenseur et prise d'eau . . . . .	3.000	
	<hr/>	
Total . . . . .		14.000
Bâtiments (60 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ), cheminée . . . . .		5.000
	<hr/>	
Total . . . . .		40.000 fr

C'est donc une charge annuelle de 3200<sup>fr</sup>.

Les dépenses d'exploitation seront : 1<sup>ks</sup>,7 de charbon par cheval-heure, plus 120<sup>ks</sup> par jour; 100<sup>s</sup> d'huile par heure, soit 5 centimes, et autant pour chiffons et matières diverses; eau, 300 litres par cheval-heure à 1 centime le mètre

cube ; un chauffeur, en même temps conducteur de la machine, présent pendant tout le temps de la marche plus 2 heures par jour, à 50 centimes par heure ; entretien et réparation courante des appareils, 50 centimes par heure. La dépense par cheval-heure est alors, en centimes :

Nombre d'heures de marche par an, en 300 jours . . . . .	1000	3000	6000
Intérêt et amortissement. . . . .	6,5	2,3	1
Combustible à 20 fr. la tonne. . . . .	5	4	3,6
Huile et divers . . . . .	0,2	0,2	0,2
Eau, à 1 centime le mètre cube . . . . .	0,3	0,3	0,3
Main d'œuvre. . . . .	1,5	1,2	1,1
Entretien . . . . .	1	1	1
Totaux . . . . .	14,5	9	7,2

Si l'on ne condensait pas, on ferait une économie annuelle de 240<sup>fr</sup> pour intérêt et amortissement du condenseur ; on dépenserait par cheval-heure 14 litres d'eau à 10 centimes le mètre cube au lieu de 300 litres à 1 centime, mais on brûlerait 2<sup>kg</sup>,2 au lieu de 1<sup>kg</sup>,7 par cheval-heure. Les prix du cheval-heure seraient alors de 15, 10 et 8 centimes.

108 PRIX DE REVIENT DE LA PUISSANCE MOTRICE

Une machine demi-fixe installée, avec bâtiments, transmission etc., coûterait 12000 fr. en moins : les frais d'exploitation resteraient à peu près les mêmes : le prix du cheval-heure alors, en centimes :

Cheval-heure	1000h	3000h	6000h
Avec condensation.	12,5	8	7
Sans condensation.	13	9	7,8

**61. Moteurs de 100 et 500 chevaux effectifs.** — Pour 100 chevaux, nous supposons encore une machine Corliss horizontale à condensation, alimentée par une chaudière unique, semi-tubulaire, offrant une surface de chauffe d'environ 120<sup>m</sup><sup>2</sup> ; nous ne prévoyons pas un générateur de rechange ; la consommation de houille sera de 1<sup>kg</sup>,5 par cheval-heure, plus 200<sup>kg</sup> par jour ; les dépenses d'huile, d'eau et diverses seront les mêmes par cheval que pour le moteur de cinquante chevaux ; comme il faudra par instants adjoindre un aide au chauffeur conducteur de la machine, nous compterons un supplément de 4<sup>h</sup> de main d'œuvre par jour ; l'entretien et

les réparations s'élèveront à 80 centimes par heure.

Pour produire 500 chevaux, on emploiera une machine compound horizontale à deux cylindres avec quatre chaudières, dont une de rechange, (chacun de 200<sup>m</sup><sup>2</sup> environ); il faudra trois hommes pour le service, plus quelques heures d'aides par jour, soit à peu près la main-d'œuvre de quatre hommes par heure de marche. La consommation sera de 1<sup>kg</sup> par cheval-heure, plus les allumages. Les dépenses s'estimeront comme il suit :

Frais de premier établissement	100 chevaux	500 chevaux
Machine seule. . . . .	20000 <sup>fr</sup>	70000 <sup>fr</sup>
Fondations. . . . .	2300	8000
Montage. . . . .	1200	4000
Transmission, câbles, etc. . . . .	2500	6000
Tuyauterie et annexes. . . . .	3500	9000
Divers . . . . .	2500	3500
Condenseur et prise d'eau . . . . .	4000	10000
Chaudières complètes. . . . .	15000	75000
Bâtiments (90 et 250 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ), cheminée . . . . .	9000	20500
Totaux . . . . .	60000 <sup>fr</sup>	206000 <sup>fr</sup>

*Dépenses par cheval-heure, en centimes :*

Nombre d'heures de marche par an, en 300 jours.	100 chevaux			500 chevaux		
	1000	3000	6000	1000	3000	6000
Intérêt et amortissement. . .	4,8	1,6	0,8	3,3	1,1	0,6
Combustible, à 20 <sup>r</sup> la tonne. . .	4,2	3,4	3,2	2,8	2,3	2,2
Huile et divers . . .	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Eau, à 1 centime le m <sup>3</sup> . . . .	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Main d'œuvre. . .	1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
Entretien . . .	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Totaux . . .	11,3	7	5,9	7,8	5	4,4

**62. Locomotives.** — Il est rarement possible d'évaluer en chevaux effectifs le travail de la locomotive, à cause de l'extrême variation de ce travail et des longs parcours pendant lesquels il est nul. Pour l'estimer, nous supposerons des conditions spéciales bien définies.

Le travail effectif est le produit de l'effort sur l'attelage du tender par le chemin parcouru, effort auquel il convient d'ajouter la part de résistance de l'air prise par la locomotive à la place du premier véhicule. Le travail consommé par la remorque de la locomotive



elle-même et de son tender doit être compris parmi les résistances passives du système.

Notre locomotive remorquera régulièrement un train de marchandises pesant 600 tonnes dans un sens, et 400 tonnes au retour, sur une ligne peu accidentée : en comptant la résistance à 3<sup>ks</sup>,5 par tonne et la vitesse moyenne à 11 mètres par seconde, le travail sera de 300 et de 200 chevaux, ou 250 en moyenne. Le trajet quotidien sera de 160 kilomètres, pendant 300 jours par an : il durera 4<sup>h</sup> environ. En réalité, la durée des trajets quotidiens des locomotives est plus longue, par suite des arrêts et des faibles vitesses à certains moments ; mais le nombre de chevaux-heures reste constant, si l'on néglige les variations de la résistance dues à la variation de la vitesse. Nous arrivons à 1000 chevaux-heure par jour, ou 300000 par an.

Comme dépenses de premier établissement, nous aurons à payer la locomotive avec son tender (40 tonnes à 1<sup>fr</sup>,26 et 12 tonnes à 0<sup>fr</sup>,80 : 60000<sup>fr</sup>), et les installations de dépôt pour le remisage et l'entretien, ainsi que les voies de raccordement (30000<sup>fr</sup>). La dépense de combustible sera de 20 à 21<sup>ks</sup> en moyenne par kilomètre, c'est-à-dire 1000 tonnes à 20<sup>fr</sup> (rendues sur le tender) par an ; ce chiffre comprend les allumages

112 PRIX DE REVIENT DE LA PUISSANCE MOTRICE

et la consommation pendant les stationnements ; la dépense d'huile et chiffons sera de 600<sup>fr</sup> ; on consommera 7000 mètres cubes d'eau à 5 centimes le mètre cube ; ce prix élevé s'explique par les dépenses considérables qu'entraînent les prises d'eau ; puis diverses menues fournitures coûteront 250<sup>fr</sup> par an. La main d'œuvre sera celle de trois hommes, un mécanicien et un chauffeur sur la locomotive, puis un manœuvre ou ajusteur au dépôt, payés 3500, 2000 et 1500<sup>fr</sup> par an. Enfin les dépenses d'entretien et de réparation s'élèveront à 10 centimes environ par kilomètre, ou à 5000<sup>fr</sup> par an. Nous négligeons un élément important, faute de pouvoir l'apprécier : c'est la part d'usure de la voie à porter au débit de la locomotive.

Nous arrivons aux chiffres suivants par cheval-heure, en centimes :

Intérêt et amortissement de la locomotive et du tender. . . . .	1,6
Intérêt, amortissement et entretien des installations fixes. . . . .	0,8
Combustible . . . . .	6,7
Huile, fournitures diverses, eau . . . . .	0,4
Main d'œuvre . . . . .	2,4
Entretien et réparation . . . . .	1,7
Total . . . . .	13,6

Ces chiffres pèchent plutôt par défaut que par excès.

**63. Bateaux de charge.** — Dans les machines marines on mesure le travail indiqué, tandis que le travail effectif est égal au produit de la vitesse du navire par la résistance qu'il éprouve. Pour passer de l'un à l'autre, il faut multiplier successivement le travail indiqué par deux coefficients de réduction, l'un exprimant le rendement de la machine, l'autre celui du propulseur ; si l'on admet 0,8 et 0,75 pour valeurs de ces coefficients, le travail effectif est les 0,6 du travail indiqué.

L'emploi de la vapeur oblige à consacrer une partie du navire à la machine, aux chaudières et aux approvisionnements de combustible ; le frêt s'en trouve réduit : nous considérons la puissance partagée en deux parties, proportionnelles, l'une au tonnage utile transporté, l'autre au poids de l'appareil moteur avec ses approvisionnements, comme la puissance de la locomotive se partage entre le train remorqué et le moteur avec son tender. Nous déterminerons ainsi la fraction de la puissance effective réellement utilisée, et du prix du cheval indiqué par heure, nous déduirons immédiatement le prix du cheval-heure véritablement utile.

Entre certaines limites de vitesse, la fraction utilisée de la puissance indiquée ne varie guère ; mais cette puissance doit croître comme le cube de la vitesse, et la dépense de combustible, pour un trajet donné, dont la durée est en raison inverse de la vitesse, augmentera comme le carré de la vitesse. La fraction utilisable du navire se trouve donc réduite à mesure que la vitesse croît, par suite de l'augmentation des approvisionnements. Nous n'étudierons pas l'effet de ces variations, mais nous nous tiendrons à un exemple déterminé.

Prenons un grand cargo-boat, déplaçant en charge 3300 tonnes et muni d'une machine à triple expansion, indiquant aux essais 1300 chevaux et en marche courante 1000 chevaux. Le poids de la machine avec tous ses accessoires, y compris la ligne d'arbres, l'hélice, les pièces de rechange, est de 140 tonnes ; celui des chaudières, avec leur eau et leurs accessoires, de 130 tonnes. C'est un poids total de 208<sup>ks</sup> par cheval indiqué aux essais ; on compte en général de 200 à 210<sup>ks</sup>. L'approvisionnement de combustible, pour 10 à 11 jours, est de 250 tonnes : le poids total afférent à l'appareil moteur sera donc, au départ, de 520 tonnes, pour un fret utile de 1600 tonnes. Notre travail indiqué

de 1000 chevaux, réduit à 600 chevaux effectifs, se partagera entre la fraction du navire afférente à la machine et celle qui porte la cargaison, dans le rapport de 500 à 1600 : nous réduisons légèrement le chiffre de 520 tonnes pour la machine, afin de tenir compte de la diminution des approvisionnements pendant la marche. On aura donc 460 chevaux réellement utilisés.

Estimons la dépense nécessaire pour produire un cheval utile ou 2,17 chevaux indiqués. Le prix total de l'appareil moteur, installé à bord, est de 315000<sup>fr</sup>, soit 140 tonnes de machines à 1<sup>fr</sup>,20 le kilogramme en moyenne et 98 tonnes de chaudières (vides) et accessoires à 1<sup>fr</sup>,50 le kilogramme. Il faut y joindre le prix d'une fraction de la coque, qui pèse au total, avec les aménagements, un millier de tonnes : la fraction afférente au moteur sera de 250 tonnes à 0<sup>fr</sup>,74 le kilogramme. La dépense de premier établissement faite pour le moteur est donc de 500000 francs.

Le prix de 74 centimes le kilogramme, choisi pour les coques avec aménagements, est une valeur moyenne dont la réalité peut s'écarter beaucoup, ces prix étant soumis à de grandes variations. Les coques seules, en acier doux, valaient en France, pendant l'année 1891, environ 58<sup>fr</sup> les 100 kilogrammes pour les cargo-boats

(67<sup>fr</sup> pour les grands paquebots, 110 à 140<sup>fr</sup>, pour les navires de guerre avec contrôle français, et 80 à 100<sup>fr</sup>, avec contrôle étranger). Le prix des pièces détachées de coques, prêtes à être montées, est descendu jusqu'à 35<sup>fr</sup> en Belgique. Avec accessoires et aménagements, le prix des coques de cargo-boat s'élève à 80 ou 90<sup>fr</sup> en France; il est moindre d'un quart en Angleterre.

On ne peut guère compter sur une durée dépassant vingt ans pour les machines et dix ans pour les chaudières. L'amortissement annuel devra donc être de 3 % pour la machine et aussi pour la coque, et de 8 % pour les chaudières (à amortir en dix ans). C'est, avec l'intérêt à 5 %, une charge annuelle de 5000<sup>fr</sup>. Nous comprenons dans ce chiffre les frais d'assurance.

Le service annuel de notre cargo-boat sera de 74000<sup>km</sup> (40000 milles marins) en 5000 heures de marche. Il développera donc 5000000 de chevaux indiqués heure, correspondant à 2300000 chevaux réellement utiles.

Les dépenses d'exploitation seront les suivantes :

Combustible, par heure de marche, allumages et décrassages compris, 950<sup>ks</sup> de houille à 20<sup>fr</sup> la tonne embarquée.

Matières de graissage, 1<sup>kg</sup>,3 à 0<sup>fr</sup>,50 le kilogramme, soit 0<sup>fr</sup>,65 ; matières diverses 0<sup>fr</sup>,35, par heure de marche.

Le personnel de la machine se composera d'une dizaine d'hommes, mécaniciens, graisseurs, chauffeurs et soutiers, dont les salaires mensuels seront, en y ajoutant les frais de nourriture, de 1600<sup>fr</sup> par mois.

Les dépenses annuelles de réparation s'élèveront en moyenne, pour l'appareil moteur, à 5 % de la valeur primitive, et à 2 % pour la partie de la coque que nous attribuons à l'appareil moteur : ce sera donc 20000<sup>fr</sup> au total.

Le prix de revient en centimes du cheval-heure utile (correspondant à 2,17 chevaux indiqués) se résume comme il suit :

Nombre d'heures de marche par an. . . . .	5000
Intérêt et amortissement. . . . .	2,2
Combustible . . . . .	4,1
Huile et matières diverses . . . . .	0,2
Main d'œuvre. . . . .	0,9
Réparations . . . . .	0,9
Total . . . . .	8,3

**64. Grands paquebots.** — Pour dernier exemple, nous prendrons un grand paquebot à deux hélices, destiné à la navigation transatlantique. La puissance totale des deux machines sera de 13000 chevaux indiqués aux essais, et de 10000 en service courant. En admettant les mêmes coefficients de réduction que dans l'exemple précédent, ces 10000 chevaux indiqués donneront un travail effectif de 6000 chevaux.

Il est difficile d'estimer la part de la puissance motrice absorbée par le transport de la machine elle-même avec ses approvisionnements, car on ne peut plus comparer le poids de l'appareil moteur au poids de la cargaison, fort restreint dans les grands paquebots rapides (800 tonnes dans l'exemple choisi), paquebots établis surtout pour le transport des passagers. Les grandes dimensions du bâtiment ne sont pas justifiées uniquement par la nécessité de loger la machine, mais correspondent à certains aménagements utiles pour les voyageurs. Nous nous contenterons donc de calculer le prix des 6000 chevaux effectifs, sans déduction d'une partie afférente au moteur.

Le poids des machines avec la ligne d'arbres, les hélices, les rechanges, est de 1200 tonnes ; le



poids des chaudières, avec leurs accessoires et leur eau, de 1360<sup>t</sup> : c'est au total 197<sup>kg</sup> par cheval indiqué aux essais. Le prix de l'appareil monté à bord (1200<sup>t</sup> de machine à 1<sup>fr</sup>,20 le kilogramme; 1040<sup>t</sup> de chaudières vides et accessoires à 1<sup>fr</sup>,50) sera de 3000000<sup>fr</sup>. L'approvisionnement de combustible au départ sera de 2300<sup>t</sup>.

La consommation de charbon par 24<sup>h</sup>, en service courant, allumages et décrassages compris, est de 250<sup>t</sup>. Nous conserverons le prix de 20<sup>fr</sup> la tonne pour faciliter les comparaisons; la consommation d'huile, par 24<sup>h</sup>, est de 850<sup>kg</sup>.

Le personnel de la machine, qui comprend 140 hommes, entraîne en solde et nourriture une dépense mensuelle de 16000 fr.

Enfin les dépenses d'entretien et de réparation s'élèvent à 5 % du prix des appareils neufs, soit 150000 fr. par an.

Nous pouvons, avec ces éléments, calculer le prix du cheval-heure effectif, pour 11 traversées aller et retour entre l'Europe et l'Amérique, longues de 6200 milles et faites à la vitesse moyenne de 17 nœuds; ce sera un parcours annuel de 68000 milles, ou 126000 kilomètres, effectué en 4000 heures :

*Voici le prix de revient en centimes :*

Intérêt à 5 p. 100 des dépenses d'installation.	0,6
Amortissement, machines 3 p. 100. . .	0,2
"    chaudières 8 p. 100. . .	0,5
Combustible, à 20 francs la tonne . . .	3,5
Matières de graissage, à 50 <sup>cent</sup> le kg . . .	0,3
Matières diverses . . . . .	0,1
Main d'œuvre. . . . .	0,8
Entretien et réparations. . . . .	0,7
Total . . . . .	6,7

N'oublions pas que si ce prix est beaucoup moindre que le précédent, c'est parce que nous rapportons la dépense du grand paquebot à la puissance totale nécessaire pour la marche du navire, sans déduction de la fraction absorbée par la partie du bateau occupée par le moteur. Nous n'avons pas non plus porté au débit du compte de la machine du grand paquebot une portion des dépenses de la coque, ainsi que nous l'avons fait pour le cargo-boat.

**65. Remarques sur les prix de revient.** — Nous ne donnons tous ces prix de revient qu'à titre d'indications générales et sommaires : pour étudier de plus près la question, il conviendrait, dans chaque cas particulier, de séparer

le bilan de la machine et de la chaudière, et d'établir à part le prix du kilogramme de vapeur. Les dispositions qui permettent de consommer peu de charbon exigent des installations considérables, grands générateurs, réchauffeurs d'eau d'alimentation, surchauffeurs de vapeur : suivant les circonstances, et surtout suivant la durée du service, les installations simples ou étendues seront les meilleures. De même, les appareils de chargement mécanique réduiront la dépense de main d'œuvre et de combustible, en augmentant les frais d'établissement et d'entretien.

Le prix du kilogramme de vapeur s'élève avec la pression, surtout à cause de l'augmentation des frais de construction et d'entretien des générateurs ; il s'élève aussi à mesure que la vapeur est plus sèche ; les chaudières qui ont le défaut de produire de la vapeur très humide paraissent économiques à première vue, si l'on compte comme vapeur l'eau qu'elle entraîne ; enfin on augmente encore le prix du kilogramme de vapeur en la surchauffant. Mais à mesure que ce prix s'accroît, la qualité de la vapeur devient meilleure, et l'on en consommera une moindre quantité par cheval-heure, pourvu que l'on emploie des machines qui l'utilisent bien dans cha-

que cas : car certains appareils, notamment les machines à un cylindre, ne consomment pas un moindre poids de vapeur lorsqu'on augmente la pression au-dessus d'une certaine limite. L'un des effets les plus nets est celui de la surchauffe, si bien étudiée en pratique et en théorie par Hirn, et qu'on paraît enfin se décider à appliquer un peu largement : elle réduit la consommation de la plupart des machines.

---

## CHAPITRE XIII

---

### CONTROLE DE LA MARCHE DES MACHINES

**66. Utilité d'un contrôle pratique.** — Lorsque les dépenses faites pour la production de la puissance motrice sont les plus importantes d'une industrie, comme pour les transports, les élévations d'eau, on en tient d'habitude un compte spécial et détaillé. Mais il n'en est plus toujours de même quand ces dépenses, bien qu'atteignant un chiffre élevé, ne forment qu'une faible fraction des charges d'un établissement ; c'est ce qui peut avoir lieu pour le moteur d'une grande manufacture : les dépenses afférentes au moteur sont portées, avec beaucoup d'autres, sur des livres de comptabilité générale, d'où il est difficile de les extraire.

Un compte spécial, bien résumé et montrant à première vue les dépenses principales, est cependant fort utile au propriétaire d'une machine à vapeur ; grâce à ce compte, il verra les différences considérables qui peuvent exister d'un moteur à un autre ; il saura apprécier s'il convient de remplacer un vieux moteur ; en outre, il y remarquera les variations de consommations qui résultent de changements dans le travail des chauffeurs, dans la nature des combustibles, de légères modifications des chaudières ou des machines, d'une fuite inaperçue, et de mille autres causes.

On relatara sur un même livre, avec le relevé des dépenses, les diverses indications relatives au fonctionnement du moteur. Il arrive souvent qu'on installe des appareils contrôleurs ou enregistreurs, mais sans organiser le service du relevé ou du dépouillement de leurs indications, peut-être parce qu'il paraît trop simple ; il en résulte ou bien qu'on ne regarde guère ces appareils, ou bien, s'il s'agit d'instruments enregistreurs, qu'on est encombré au bout de quelque temps d'une masse de tracés qui ne servent à rien, parce que pour en tirer parti il faudrait consacrer un temps considérable à un travail rebutant. Tout appareil de ce genre exige l'em-

ploi d'un carnet de dépouillement bien tracé, constamment tenu à jour, avec moyennes et résumés fréquents.

Un moteur à vapeur comporte souvent plusieurs appareils de contrôle : leurs indications seront relevées avec les diverses consommations qu'on doit constater et les dépenses qu'il faut suivre de près. Nous donnerons comme exemple la tenue d'un livre spécial pour une machine motrice d'atelier.

On indiquera en tête un résumé des dépenses de premier établissement, y compris le prix du terrain et des bâtiments. Chaque année, le total de ces dépenses sera augmenté du prix des réfections et des additions et diminué de la somme consacrée à l'amortissement.

**67. Contrôle de la production de la vapeur.** — Quand on veut contrôler la production de la vapeur, il faut jauger l'eau d'alimentation et peser le combustible. Pour ce jaugeage, le mieux est d'installer un compteur d'eau entre les appareils d'alimentation et les chaudières. L'indication du compteur sera inscrite tous les jours dans une case préparée à cet effet sur le livre. Toute l'eau ainsi jaugée est transformée en vapeur ou entraînée par la vapeur, sauf celle qui

reste dans les chaudières au moment de la vidange, qui a lieu à intervalles réguliers : c'est une déduction d'un certain nombre de mètres cubes à faire, à moins que le remplissage ne se fasse sans que l'eau passe par le compteur. Connaissant ainsi l'eau vaporisée ou entraînée chaque jour, on inscrira, dans une colonne spéciale, la moyenne par jour ou par heure de marche, suivant les cas, puis on établira successivement des moyennes hebdomadaires, mensuelles, annuelles.

Il serait intéressant de déterminer la proportion d'humidité entraînée par la vapeur, mais cette détermination est difficile, même dans des expériences faites sur les moteurs. Avec les chaudières à vaporisation très active, il est prudent de chercher quelquefois à estimer cette proportion d'eau.

Le combustible doit être pesé par petites quantités, au moment où il entre dans la chambre de chauffe. Le mieux est d'employer des wagonnets tarés, passant sur une bascule au niveau du sol : toute erreur de pesée est évitée si l'on fait usage de balances imprimant le poids : toutefois les erreurs ne peuvent être graves sans être remarquées, si le wagonnet est toujours rempli de même.



L'approvisionnement de combustible doit être enfermé et de préférence à couvert, pour éviter qu'il ne se charge d'eau. Toute livraison pour un service quelconque doit être constatée comme pour les chaudières, afin de bien contrôler les consommations. Il est mauvais de laisser prendre le charbon pour divers usages sur un tas commun : ce ne sont pas tant les soustractions qui sont à craindre que la négligence dans l'emploi, personne ne pouvant plus être rendu responsable d'une consommation exagérée.

Il serait bon de charger également les escarbilles dans un wagonnet taré et de les peser à la sortie de la chambre de chauffe. Si les cendriers sont pleins d'eau, on déterminera la valeur moyenne de la réduction à faire subir au poids d'escarbilles humides. On connaîtrait ainsi la proportion de cendres et de combustible non brûlé. Ce ne serait pas une bien grande peine que de faire à certains intervalles, tous les trois mois par exemple, ou lorsqu'on emploie des combustibles nouveaux, une prise d'essai sur les escarbilles et d'y déterminer par une incinération la proportion de coke.

Le livre du service de la machine portera des colonnes pour la comparaison des consommations d'eau et de combustible, par semaine, par

mois, par année et pour la proportion d'escarbilles.

Le compte est un peu plus compliqué lorsqu'on emploie des combustibles divers, tels que du coke et du charbon ; il faut indiquer la composition de mélanges souvent variables. Il conviendrait de porter à part, sans le rapporter à l'eau vaporisée, le combustible spécialement employé à l'allumage, tel que les fagots ; on peut aussi attribuer à chaque allumage un poids déterminé de charbon, ce qui rend mieux comparables les chiffres de vaporisation à chaque instant.

Enfin le contrôle des gaz rejetés par la cheminée est plus difficile mais fort important, car une proportion notable du combustible peut s'échapper à l'état gazeux, ou un grand excès d'air peut inutilement s'échauffer dans l'appareil. Il ne faut pas toutefois s'exagérer les difficultés de ce contrôle : l'observation de la différence de pression produisant le tirage et de la température des gaz est des plus simples ; leur analyse sommaire, par exemple à l'aide de l'appareil Orsat, est facile et une prise d'essai donnera aisément la composition moyenne des gaz de la cheminée pendant une heure ou deux ; ce ne serait pas une grande sujétion que d'ob-

server de temps en temps la valeur du tirage et la température et d'essayer les gaz une ou deux fois par an. On a même construit des instruments indiquant la proportion d'oxyde de carbone d'après la densité des mélanges gazeux, après compensation automatique des effets de la température et de la pression.

Si les chaudières sont munies d'un manomètre enregistreur, une note dans le livre indiquera si les pressions relevées sur chaque feuille, donnée par l'appareil, sont constantes, variables ou irrégulières, toujours avec résumés permettant une appréciation rapide à un moment quelconque.

Une fois les quantités de combustible et d'eau d'alimentation relevées, il est facile d'inscrire chaque semaine ou chaque mois la dépense correspondante : pour le combustible, on aura à majorer légèrement les prix d'achat ; pour l'eau, si elle a un prix un peu élevé, il faudra tenir compte aussi de la quantité (mesurée ou estimée) consommée en arrosages, lavages de chaudières et autrement. On inscrira aussi (chaque semaine ou chaque mois) les poids et prix des désincrustants et matières diverses consommées pour le service des chaudières. Enfin le livre portera le relevé du temps payé aux chauffeurs et à d'autres ou-

vriers et de leurs salaires. Les dépenses d'entretien et de réparation des générateurs y seront aussi inscrites.

On préparera le livre pour l'inscription mensuelle, puis annuelle, de toutes les dépenses, rapportées au kilogramme de vapeur produite.

Toutes ces opérations peuvent paraître d'une exécution longue et difficile : en réalité, ce qui demande un peu d'attention, c'est le tracé du livre avec les cases diverses à remplir. Si ce tracé est bien fait, les inscriptions elles-mêmes, régulièrement faites, nè prendront que quelques instants chaque jour.

**68. Contrôle de la consommation de la vapeur.** — Il est plus simple de contrôler la marche d'un moteur que la production de la vapeur. Un compteur de tours est utile pour faire connaître les vitesses moyennes et indirectement la durée de la marche, quand la vitesse est régulière : il est important que tout arrêt intempestif du moteur soit noté.

Il est bon de comparer de temps à autre la pression dans la boîte à vapeur de la machine à celle des chaudières.

Quelques diagrammes relevés à l'indicateur dans le courant de l'année, à des dates fixées,

font voir si la distribution reste bien réglée et si le travail demandé à la machine se modifie : on choisira des heures correspondant autant que possible à la puissance moyenne, à son maximum et à son minimum. Les diagrammes peuvent être relevés par le conducteur de la machine : à moins d'être maladroit, on apprend bien vite à se servir de l'indicateur.

Dans les installations bien faites, l'eau de purge des conduites et des enveloppes retourne aux chaudières ; si ce retour se fait en dehors de l'alimentation jaugée, l'effet utile du combustible est en réalité un peu plus grand que ne l'indiquent les relevés, puisqu'il fournit, outre la chaleur communiquée à l'eau d'alimentation, la chaleur de vaporisation de l'eau condensée rentrant à la chaudière. Pour un contrôle pratique, effectué toujours dans les mêmes conditions, cela n'a aucun inconvénient ; il convient toutefois d'indiquer clairement en tête du livre les détails de l'installation, de manière à permettre la comparaison de diverses machines.

La mesure constante du travail effectif donné par un moteur aurait grand intérêt ; bien qu'il existe des méthodes pour cette mesure, elles exigent pour la plupart des appareils trop compliqués pour être d'une application courante. Tou-

tefois le pandynamomètre de Hirn, qui enregistre avec une roulette sur plateau totaliseur la torsion de l'arbre de couche, torsion proportionnelle à l'effort transmis, est bien simple en principe : il est regrettable que la méthode de Hirn ne soit pas appliquée fréquemment, car elle repose sur l'emploi d'instruments peu coûteux et d'une facile installation. Un autre appareil, du même savant ingénieur, enregistre la flexion du balancier.

Sur le condenseur on relèvera de temps en temps la pression et la température ; les écarts entre la pression relevée et celle de la vapeur saturée à la température observée donnent une indication utile sur la proportion d'air contenue dans le condenseur. Les manomètres barométriques, qui mesurent directement la pression du condenseur, sont préférables aux indicateurs de vide, donnant la différence entre cette pression et celle de l'atmosphère, qui est variable.

On pourrait aussi jauger l'eau de condensation ; mais souvent on dispose d'eau en abondance, et il n'est pas important d'en réduire la consommation autant que possible. S'il n'en est pas ainsi, comme si l'eau est prise à une profondeur assez grande, il est utile de se rendre compte de la quantité élevée : un compteur de tours de l'appareil élévatoire peut suffire.

On inscrira au débit de la machine les quantités et les prix de l'huile et des autres matières consommées ; le temps et les salaires des conducteurs ; les dépenses de matières et main-d'œuvre pour l'entretien et la réparation ; certains frais de grandes réparations devront seuls être portés au débit du compte de premier établissement, déjà partiellement amorti.

Enfin on inscrira chaque année la part de dépenses d'éclairage, d'impositions, de réparations de bâtiments, qu'on attribue au moteur.

Des résumés donneront tous les mois, ou au moins tous les ans, la dépense totale, ainsi que ses principaux éléments, rapportée à l'heure ou à la journée de marche, si la journée comprend un nombre d'heures constant.

Un pareil travail, qui, une fois bien préparé, ne sera pas long, se prêtera à des comparaisons instructives de la marche d'un moteur à diverses époques, ou de divers moteurs entre eux ; il conduira souvent à des réductions sur certains chapitres ; il permettra d'établir des primes d'économie pour stimuler le personnel.

---

## CHAPITRE XIV

---

### APPLICATION DE LA THÉORIE A LA CONSTRUCTION DES MACHINES A VAPEUR

**63. Bases de l'étude des machines. —**  
Quand une machine est construite et fonctionne, on peut déterminer avec exactitude le prix de la puissance qu'elle fournit : on en déduira ce prix pour des moteurs analogues du même type. Il arrive cependant que même des machines pareilles, ayant exactement les mêmes dimensions, ne consomment pas la même quantité de vapeur, sans qu'il soit toujours facile de trouver la raison des différences : il est probable que la même machine, essayée à diverses époques, n'indiquera pas toujours les mêmes consommations.



S'il est déjà difficile d'apprécier exactement une machine quand on a pu observer des appareils analogues, la prévision du fonctionnement d'une machine nouvelle est encore bien plus incertaine et la théorie ne donne pas encore une solution complète de ce problème.

L'étude d'une machine à vapeur repose sur l'application de trois branches de nos connaissances théoriques, la résistance des matériaux, les lois du frottement, enfin celles de la formation et du travail de la vapeur.

**70. Résistance des matériaux.** — De ces trois branches, la première s'applique avec le plus de précision et de certitude. D'une part, on connaît exactement les efforts que supporteront les diverses parties d'une machine, et, d'autre part, les proportions des pièces pouvant résister à ces efforts, sans flexions excessives, sont bien établies et par la théorie et par la pratique. La forme et les dimensions des organes usuels des moteurs sont bien connues, et il n'y a pas de difficultés sérieuses à tracer la plupart des formes nouvelles qui pourraient être nécessaires. Il convient toutefois de faire quelques réserves en ce qui concerne les cylindres, soumis à des dilatations inégales dans leurs diverses parties.

L'étude théorique des effets de ces dilatations n'est pas encore complète et c'est en partie par des règles empiriques que se guide le constructeur pour l'exécution des cylindres compliqués. Nous avons déjà fait remarquer que, dans le montage des grands appareils, tels que les machines marines, il faut prévoir, en assemblant les cylindres, des jeux suffisants pour la dilatation, qui ne sera pas la même sur les divers cylindres, recevant successivement la vapeur à des pressions décroissantes.

Nous parlons seulement des machines, car, pour les chaudières, on peut dire que les lois de leur résistance sont peu étudiées : on calcule le plus souvent les épaisseurs de tôles et les sections des tirants et entretoises comme si la rivure n'altérait pas la forme circulaire et sans tenir compte des efforts considérables produits par les dilatations fort inégales des diverses parties.

**71. Lois du frottement et de l'usure.** — Le frottement joue un rôle capital dans les machines : il absorbe une fraction importante de la puissance produite ; nous sommes fort satisfaits du résultat obtenu quand cette fraction ne dépasse pas un dixième, et souvent elle est bien plus grande. La puissance ainsi consommée

n'est pas seulement perdue, mais elle est employée à détruire la machine.

Les lois du frottement sont encore mal connues, quoique de récentes recherches aient apporté de précieux matériaux pour leur étude. Les règles pour fixer les dimensions des surfaces frottantes sont encore bien vagues. On tâche de ne pas dépasser  $20^{\text{kg}}$  par  $\text{cm}^2$  de la surface projetée, quand la pression est toujours dirigée dans le même sens : pour les articulations alternativement poussées et tirées, les efforts par  $\text{cm}^2$  peuvent être bien plus considérables, sans doute à cause de la pénétration plus facile de l'huile entre les surfaces. Le travail du frottement étant égal au produit du frottement par le chemin parcouru, il y a intérêt, à égalité de surface, à réduire le diamètre des tourillons autant que le permettent les conditions de résistance.

La connaissance des lois de l'usure des pièces serait aussi bien importante : lorsque les pressions sur les surfaces frottantes sont faibles, l'usure est presque insensible ; elle se produit rapidement quand la pression dépasse certaines limites. Il serait utile de préciser ces limites et de chiffrer l'usure dans chaque cas.

Le frottement et l'usure dépendent aussi de la vitesse. L'effet des chocs dans les articulations,

qui présentent nécessairement un certain jeu, si faible qu'il puisse être, s'ajoute au frottement pour user et déformer les pièces : cet effet augmente beaucoup avec la vitesse.

Parmi les frottements, ceux qui se font à haute température et dans la vapeur, tiges dans leurs garnitures, segments de pistons, tiroirs, méritent une étude spéciale.

**72. Théorie du travail de la vapeur.** — La théorie du travail de la vapeur laisse enfin bien des points douteux pour le praticien. On peut prévoir avec assez d'exactitude le travail indiqué de la vapeur dans une machine en étude, c'est-à-dire tracer d'avance le diagramme que donnera l'indicateur : connaissant à chaque instant les sections de passage de la vapeur et les vitesses du piston, on peut déterminer les laminages de vapeur. Cette détermination est surtout empirique et fondée sur la comparaison avec des machines en service. On peut admettre ensuite que les courbes de détente et de compression sur le diagramme se rapprochent beaucoup d'hyperboles équilatères, par suite des vaporisations et condensations dans le cylindre. Mais s'il est facile de tracer d'avance le diagramme représentant le travail indiqué, il est difficile de prévoir

avec exactitude la consommation correspondante de vapeur, et l'effet sur cette consommation des diverses dispositions qu'on peut adopter.

On peut dire que la théorie de la machine à vapeur ne sera complète que lorsque cette prévision sera possible ; elle rendrait alors les plus grands services au constructeur, en lui permettant de choisir les dispositions les plus économiques, qui ne sont pas toujours, bien entendu, celles qui réduisent au minimum la consommation de vapeur.

Nous passerons en revue les principales questions qu'on peut se poser pour l'établissement d'un moteur, en envisageant seulement l'économie de vapeur ; la plupart de ces questions attendent une solution générale.

**73. Production de la vapeur.** — Disons d'abord que l'étude de la production de vapeur est suffisamment avancée, au moins pour le praticien ; s'il est difficile de réaliser effectivement une très bonne combustion, les conditions théoriques en sont bien connues ; les lois de la transmission de la chaleur à l'eau de la chaudière sont aussi assez bien connues, bien que les valeurs exactes des coefficients de transmission, variables avec la vitesse de circulation des gaz et

de l'eau contre les tôles, ne soient qu'imparfaitement déterminées. Mais on pourra fixer les surfaces de chauffe nécessaires pour refroidir les gaz jusqu'à une température donnée et celles que doivent présenter les réchauffeurs pour réaliser le chauffage méthodique de l'eau. Les conditions de production de vapeur sèche, de surchauffe de la vapeur, sont également faciles à fixer dans chaque cas.

**74. Pression de la vapeur.** — Il est bien établi que l'élévation de la pression permet de réduire la consommation de vapeur, et la seule limite de la pression est imposée par la difficulté de construire des chaudières assez résistantes. Mais toutes les machines ne sont pas aptes à bien utiliser la vapeur à haute pression. Dans les machines monocylindriques, il ne paraît pas avantageux d'élever la pression au-dessus de 6 à 7<sup>kg</sup> par centimètre carré ; des pressions plus élevées peuvent, cependant convenir pour les machines très rapides, avec grand laminage de vapeur à l'admission et forte compression, et si l'on veut exercer un grand effort avec de petits cylindres. Les machines compound conviendront pour des pressions de 6 à 10<sup>kg</sup>, si elles marchent à condensation ; mais il faudra mieux se tenir

près de la limite supérieure pour la marche à échappement dans l'atmosphère. Enfin la triple expansion s'appliquera pour les pressions de 9 à 12<sup>kg</sup>, autant que possible avec condensation.

L'avantage de l'expansion multiple peut s'expliquer par le moindre écart des températures extrêmes dans chaque cylindre, d'où résulterait une condensation moins abondante à l'admission. Les expériences à ce sujet ne sont pas toutefois concordantes ; l'effet n'est d'ailleurs assez fort pour compenser les pertes de travail résultant du passage d'un cylindre dans l'autre que lorsque les pressions initiales sont assez grandes.

**75. Pression au condenseur.** — La contre pression que doit surmonter le piston pendant son retour est supérieure à celle qui correspond, pour la vapeur saturée, à la température entretenue dans un condenseur ordinaire par mélange, non seulement à cause du laminage qui peut résulter du passage à travers le distributeur, (laminage faible dans les grandes machines lentes) mais surtout à cause de la présence de l'air dans le condenseur. La pression y est égale à la somme des pressions qu'auraient l'air sec et la vapeur seule à la température du condenseur. Aussi reconnaît-on aisément que la vapeur est

beaucoup plus chaude au tuyau d'échappement de la machine que dans le condenseur.

Ce fait explique le fonctionnement des condenseurs avec réchauffeur tubulaire où l'eau d'alimentation circule dans des tubes sur le passage de la vapeur d'échappement de la machine. Avec un condenseur sans air, la température de la vapeur serait partout la même et l'appareil ne pourrait réchauffer l'eau.

A mesure qu'on augmente la quantité d'eau injectée au condenseur, on abaisse la température et par suite la pression de la vapeur, mais on augmente le poids d'air dégagé et par suite sa pression ; il faudrait alors augmenter les dimensions de la pompe à air, et le travail qu'elle consomme. Avec une pompe donnée, connaissant la température de l'eau d'injection et la quantité d'air qu'elle tient en dissolution, on peut calculer le poids d'eau qui donnera la moindre pression au condenseur : il ne convient pas de dépasser cette quantité d'eau. L'observation de la température de l'eau rejetée permet de connaître le débit.

Supposons que le volume engendré par le piston de la pompe à air soit de 100 litres par kilogramme de vapeur entrant au condenseur ; nous admettrons que ce kilogramme de vapeur



apporte 485 calories, que l'eau d'injection est à 15° et contient un vingtième de son volume d'air à 15° et à la pression atmosphérique. Le minimum de la pression totale correspond à une injection de 30<sup>kg</sup> d'eau par kilogramme de vapeur ; la température du condenseur est alors de 30°, la pression de l'air est de 237<sup>kg</sup> par mètre carré, celle de la vapeur de 429<sup>kg</sup>, soit au total 666<sup>kg</sup> (la pression moyenne de l'atmosphérique est de 10300<sup>kg</sup>). Pour une injection de 35<sup>kg</sup> d'eau, la température descendrait à 28°, la pression de la vapeur à 382<sup>kg</sup> par mètre carré, mais celle de l'air monterait à 296<sup>kg</sup>, soit au total 678<sup>kg</sup>. Avec 25<sup>kg</sup> d'eau seulement, la température serait de 33°, et les pressions de 509<sup>kg</sup> pour la vapeur, 186<sup>kg</sup> pour l'air, 695<sup>kg</sup> au total.

On aurait souvent avantage à condenser avec une quantité d'eau réduite, surtout quand l'eau est rare, mais on hésite à le faire, parce qu'alors il suffit d'une augmentation subite dans la quantité de vapeur pour trop échauffer le condenseur, le désamorcer et obliger à un arrêt de la machine.

Le condenseur Weiss est disposé pour faire circuler l'eau injectée en sens contraire de la vapeur, de manière à en séparer l'air, qui est aspiré par une pompe à air sec à la partie supé-

rieure de l'appareil, près du point d'entrée de l'eau; l'écoulement se fait à l'autre extrémité par un tube vertical de 10 mètres. La pression totale est réduite par la séparation de l'air amené par l'eau et de la vapeur arrivant de la machine. L'appareil peut convenir surtout pour une installation spéciale de condensation desservant plusieurs moteurs.

Dans le condenseur à surface, l'air dissous dans l'eau de refroidissement ne diminue plus le vide, mais la température atteinte par la vapeur est moins basse que dans un condenseur à injection recevant la même quantité d'eau. Pour abaisser cette température dans un condenseur donné, il faut augmenter la quantité d'eau; le travail absorbé par la circulation croît comme le carré du débit.

**76. Distribution de la vapeur.** — Jusqu'à quel volume doit-on détendre la vapeur? Les détentes trop prolongées ne paraissent pas avantageuses, parce que, pour une faible augmentation du travail moteur, elles entraînent un accroissement considérable du cylindre, c'est-à-dire une exagération des résistances passives et de la surface des parois. On doit s'en tenir dans les machines monocylindriques à 6 ou 8 fois le volume primitif. On peut dépasser ce chiffre, et

détendre 8 à 12 fois, dans les machines à plusieurs expansions et forte pression initiale.

Le laminage de la vapeur à l'admission, malgré le très faible assèchement de la vapeur qu'il produit, donne lieu en définitive à une perte de travail, et il est bon de l'éviter ou de le réduire autant que possible. Dans les machines à tiroir ordinaire marchant rapidement, le laminage a cependant l'avantage de réduire la période d'admission effective et d'augmenter ainsi la détente. Le laminage à l'échappement agit de même dans ces machines, en réduisant l'effet de l'échappement anticipé.

La compression, en remplissant les espaces libres de vapeur à une pression voisine de la pression d'admission, en atténue beaucoup les effets fâcheux sur la consommation de vapeur. Mais cette compression complète n'est guère possible que pour les machines échappant dans l'atmosphère ou à plusieurs expansions. On pourra dans chaque cas déterminer approximativement l'effet d'une faible compression, telle qu'on peut l'obtenir avec la vapeur très détendue des machines à condenseur, en calculant le travail absorbé pour la produire et la réduction sur le poids de vapeur consommé pour remplir l'espace libre.

En principe, il est économique de réduire autant que possible l'espace libre et par suite la compression, qui ne sont que deux défauts pouvant se neutraliser en partie l'un par l'autre. Nous envisageons ici uniquement la dépense de vapeur, en laissant de côté les avantages spéciaux de la compression dans certaines machines.

**77. Enveloppes de vapeur.** — L'effet des enveloppes est bien établi : elles diminuent la dépense de vapeur en réduisant les condensations lors de l'admission dans le cylindre, bien que consommant elles-mêmes de la vapeur.

On alimente les enveloppes soit au moyen de la vapeur même qui va travailler dans le cylindre, soit à l'aide d'une dérivation spéciale. Le premier procédé envoie une vapeur un peu plus humide dans le cylindre, mais la circulation est active dans l'enveloppe, et l'eau n'y séjourne pas. Dans le second système, il faut assurer la purge des enveloppes, et c'est un détail souvent négligé : on se contente parfois d'un simple robinet purgeur manœuvré à la main, sans qu'on puisse facilement savoir si l'ouverture en est suffisante ou excessive. La purge des enveloppes doit être ramenée aux chaudières : cela est facile si elles sont en contrebas de la machine ;

l'ingénieuse disposition de tuyautage connue sous le nom de *Steam loop* permet également le retour automatique dans une chaudière plus élevée que la machine. Une pompe de purge actionnée par le moteur est souvent employée à cet effet.

Les enveloppes peuvent être alimentées par la vapeur à une température plus élevée qu'à l'admission dans le cylindre; cela est surtout facile pour les machines compound et à plusieurs expansions, en envoyant dans l'enveloppe des cylindres de détente directement la vapeur de la chaudière. L'action de l'enveloppe est plus énergique, mais elle dépense plus de vapeur. Quel sera l'excès de température de la vapeur dans l'enveloppe qui donnera l'économie maxima? Il est difficile de répondre à cette question; on n'est guidé que par les chiffres d'expériences faites sur quelques machines. Ces expériences paraissent indiquer qu'il vaut mieux ne pas trop élever la température de la vapeur dans l'enveloppe, en faisant traverser au besoin un détendeur à la vapeur avant de l'y admettre. Dans les machines à plusieurs expansions, certains constructeurs font circuler autour de chaque cylindre la vapeur qui doit y travailler.

Dans ces machines, avec faible écart des tem-

pératures extrêmes dans chaque cylindre, on a parfois supprimé les enveloppes par économie de construction et pour alléger l'appareil, et, semble-t-il, sans trop grand accroissement de consommation. Il est difficile de chiffrer, sauf par des expériences spéciales et soignées, l'effet de l'enveloppe.

On a quelquefois muni les réservoirs intermédiaires de vapeur d'enveloppes et même de réchauffeurs tubulaires alimentés par la chaudière : on doit augmenter ainsi un peu le travail recueilli, mais la dépense totale de vapeur par cheval paraît croître légèrement. C'est encore un point sur lequel les pratiques des constructeurs varient et que la théorie ne permet pas de trancher.

### **78. Influence de l'humidité de la vapeur.**

— Il est difficile de se rendre compte de l'effet que peut produire l'eau mélangée à la vapeur qui entre dans le cylindre : cet effet paraît défavorable, au moins quand l'eau est abondante; cependant de très bons constructeurs ne craignent pas de faire circuler la vapeur dans les enveloppes avant son admission, bien qu'il s'y produise alors une certaine condensation.

L'humidité de la vapeur augmente-t-elle les

condensations à l'admission, en donnant lieu à un plus grand refroidissement au condenseur pendant l'échappement? Dans une machine à enveloppe, il est probable que cet effet augmentera la dépense de vapeur dans l'enveloppe. Dans une machine sans enveloppe, on ne voit pas bien d'où viendrait la chaleur fournie pour cette vaporisation supplémentaire, pendant l'échappement, de l'eau entrant dans le cylindre à l'état liquide. Mais il est possible que la chaleur fournie à l'eau entraînée ne produise qu'un faible effet utile et soit transportée en pure perte au condenseur pour la plus grande partie, contrairement à ce qui aurait lieu dans le cas du fonctionnement adiabatique de la machine.

Par contre l'excellent effet de la surchauffe paraît aussi bien établi par la pratique que par la théorie. Toutefois les expériences assez précises manquent pour déterminer le degré de surchauffe nécessaire si l'on veut éviter toute condensation pendant l'admission et pendant la détente; quand cette condition sera réalisée, la vapeur ne sera saturée dans le cylindre que pendant l'échappement, et les échanges calorifiques avec les parois, par simple contact avec la vapeur, sans condensation, seront insignifiants. La consommation en sera considérablement réduite.

En pareil cas, l'enveloppe semble devenir inutile ou même nuisible, car elle n'aurait plus guère d'autre effet qu'une augmentation de la perte de chaleur par rayonnement extérieur.

Devra-t-on conserver la détente en plusieurs cylindres successifs? Non, si l'on pouvait réaliser le programme indiqué, c'est-à-dire supprimer toute condensation dans le cylindre, malgré une détente prolongée. Mais il faudrait sans doute pour cela une température de surchauffe trop élevée. Dans des cylindres successifs, avec détente modérée dans chacun d'eux, c'est plus facile; il faudrait surchauffer à nouveau la vapeur dans chaque réservoir intermédiaire, ce qui ne parait ni très difficile ni très compliqué avec les types de surchauffeurs indépendants en usage aujourd'hui.

**79. Fuites de vapeur.** — Les fuites de vapeur, de l'admission à l'échappement, accroissent d'une quantité inconnue la dépense de vapeur. Ces fuites sont réduites par l'emploi des expansions multiples, qui diminuent l'écart des pressions déterminant l'écoulement de vapeur. La vapeur n'est d'ailleurs entièrement perdue que lors de la fuite finale au condenseur.

C'est un défaut assez sérieux des machines que



ces fuites puissent se produire et s'aggraver autour des pistons et des distributeurs de vapeur sans que rien les révèle au dehors.

**80. Puissance variable.** — S'il est déjà difficile de déterminer les dispositions de nature à réduire au minimum la consommation de vapeur pour produire un travail donné, le problème se complique encore lorsque le travail doit varier à volonté, puisque les conditions favorables pour une certaine marche le sont moins pour d'autres. Nous avons donné au § 49 quelques indications à ce sujet.

---



## BIBLIOGRAPHIE

---

### BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

Nous citons seulement parmi les ouvrages si nombreux sur les machines à vapeur, ceux qui donnent des descriptions ou des dessins d'un grand nombre de types.

ARMENGAUD. — *Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur*, 1861.

UHLAND. — *Les nouvelles machines à vapeur* (notamment à l'Exposition de 1878); traduction de Laharpe, Beretta et Desnos.

- UHLAND. — *Traité de machines à vapeur avec distribution par tiroirs*, traduction Jarry, 1886.
- BUCHIETTI. — *Les machines à vapeur actuelles*, 1881; *Supplément*, 1888; *Les machines à vapeur à l'Exposition de 1889*.
- POLONCEAU. — *Progrès dans les machines à vapeur depuis 1878*, dans le *Congrès international de mécanique appliquée*, t. II.
- VIGREUX. — *Revue technique de l'Exposition universelle de 1889*.
- FR. FREYTAG. — *Die Dampfmaschinen der pariser Weltausstellung*, 1889, ouvrage commode par son format condensé.
- H. DE LA GOUPILLIÈRE. — *Cours de machines*.
- RÜHLMANN. — *Algemeine Maschinenlehre*, remarquable par l'importance des indications bibliographiques.
- CALLON. — *Cours de machines*.
- H. FONTAINE. — *Machines à l'Exposition de Vienne en 1873*.
- RADINGER — *Dampfmaschinen et Transmissionen in den Vereinigten Staaten von Nord-america*, 1879.
- ED. SAUVAGE. — *Revue de l'état actuel de la construction des machines*, 1892.
- Stationary engine practice in America*, articles dans l'*Engineering*, 1891, 1<sup>er</sup> semestre.

Les journaux et revues techniques tels que le *Génie civil*; la *Publication industrielle* d'ARMENGAUD aîné.

La *Revue générale de mécanique appliquée*, par le même.

Le *Portefeuille économique des machines, de l'outillage*, etc. d'OPPERMANN; l'*Engineering*; *The Engineer*; la *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*; la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*.

#### BIBLIOGRAPHIE SPÉCIALE AUX DIVERSES CATÉGORIES

Nous donnerons en outre quelques indications plus spéciales pour diverses catégories de machines.

##### MACHINES A GRANDE VITESSE

G. RICHARD. — Articles dans la *Lumière électrique*, février et mars 1889, p. 358, 407, 456.

R. H. THURSTON. — *Stationary steam engines*.

##### LOCOMOTIVES ROUTIÈRES

WM. FLETCHER. — *The history and development of steam locomotives on common roads*.

*Proceedings of the institution of civil engineers*, XXXVI, p. 36 et CIII, p. 3.

## MACHINES DEMI-FIXES

- G. RICHARD. — Etude sur les *moteurs à vapeur domestiques*, *Revue technique de l'Exposition de 1889*, 6<sup>e</sup> partie, t. II, p. 384.
- GOUVY. — Petits moteurs à Vienne en 1888, *Portefeuille économique*, 1889, p. 6.
- KNOKE. — *Die Kraftmaschinen des Klein-gewerbes*.

## MACHINES POUR APPLICATIONS SPÉCIALES

- II. DE LA GOUPILLIÈRE. — *Cours d'exploitation des mines*.
- ED. DENY. — *Traité théorique et pratique des machines soufflantes*, (2<sup>e</sup> édition).
- Machines d'épuisement, *Proceedings of the institute of mechanical engineers*, 1874, p. 258.
- BOULVIN. — *Cours de mécanique appliquée aux machines*, 7<sup>e</sup> fascicule : *machines servant à déplacer les fluides*.
- Marteaux pilons*, études par CHOMIENNE et par CASALONGA, extrait du *Bulletin de la Société des anciens élèves des écoles d'arts et métiers*, 1888.

## LOCOMOTIVES

COUCHE. — *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer.*

*Revue générale des chemins de fer.*

Sur les locomotives compound, voir : série de descriptions et de mémoires dans cette revue ; *Société des ingénieurs civils*, études générales, en 1877, p. 852, M. MALLET ; en 1886, 1, p. 135, M. BORODINE ; en 1889, 1, p. 796, M. PULIN ; en juillet 1890, M. MALLET ; Mémoire de URQHART et BORODINE dans les *Proceedings of the institute of mechan. eng.*, 1890, p. 55.

## MACHINES MARINES

BIENAYMÉ. — *Les Machines marines.*

LEDIEU. — *Traité élémentaire des appareils de navigation.*

LEDIEU et HUBAC. — *Les Nouvelles machines marines.*

POLONCEAU. — *Les Machines marines depuis 1878*, dans le *Congrès de mécanique appliquée*, t. II,

BUSLEY. — *Die Schiffmaschine* ; série d'articles dans la *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, en 1891.

## MACHINES A RÉACTION

RATEAU. — *Turbines à vapeur*, dans le *Bulletin et les Comptes rendus mensuels de la Société de l'Industrie minière*, 1890.

Essais à Newcastle, *Engineering*, 1892, 1<sup>er</sup> semestre, p. 52 ; *Portefeuille économique*, 1892, p. 58.

## PUISSONÈTRES

Essais aux Etats-Unis, *The Engineer*, 1891, 2<sup>o</sup> semestre, p. 528.

HARTMANN. — *die Pumpen*, p. 427.

## INJECTEURS

RICHARD. — Articles dans la *Revue générale des chemins de fer*, 1882, 2<sup>o</sup> semestre, p. 200 et 354.

## MACHINES A VAPEURS COMBINÉES

MADAMET. — *Thermodynamique*, p. 168 et 209, avec extraits des rapports sur la machine à vapeurs d'eau et de chloroforme de M. Lafont.

DU TREMBLAY. — *Manuel du conducteur des machines à vapeurs combinées* (Lyon, 1850).

LEDIEU. — *Nouvelles machines marines*, I. p. 189. *Annales des mines*, 5<sup>o</sup> série, t. IV, p. 203 et 281.



## CONTROLE DE LA MARQUE DES MACHINES

HIRN. — Les pandynamomètres (Paris, 1876).

Voir aussi *Annales des mines*, 6<sup>e</sup> série, t. XI,  
p. 167.

## APPLICATION DE LA THÉORIE

*Steam loop : Génie civil*, février 1892, p. 274 ;  
*the journal of the Franklin institute*, octobre  
1891, p. 24.

## EXEMPLES DES PRINCIPAUX TYPES DE MOTEURS

Nous indiquerons enfin une série d'exemples de la plupart des types que nous avons cités : nous caractérisons les cylindres par l'indication des diamètres, en millimètres, puis de la course des pistons (après le signe de la multiplication  $\times$ ). Le nombre de tours est indiqué par minute. Nous désignons en abrégé, autant que possible par le nom seul de l'auteur, les ouvrages que nous venons d'indiquer. Cette liste est comme la légende d'un atlas des principaux types de machines à vapeur, atlas qui ne peut rentrer dans le cadre des aide-mémoire.

## A. GRANDS MOTEURS D'ATELIERS

## (a). Machines à balancier.

Ancienne machine (1827) à un cylindre de  
856  $\times$  1,846 ; 18 tours ; à distribution par ti-

roirs divisés, type de Watt (ARMENGAUD, *Traité des moteurs à vapeur*, t. II, p. 3 et pl. 26).

Machines Corliss jumelles de l'Exposition de Philadelphie en 1876, à cylindres de  $1016 \times 3050$ ; 36 tours (UHLAND, 1878 p. 25, et pl. II).

Machine Woolf, à cylindres de  $355 \times 1130$  et  $686 \times 1524$ , à distribution Correy (tiroirs à excentrique triangulaire et taquets de détente à déclié pour le cylindre à haute pression); 32 tours (BUCHETTI, 1881, p. 109 et pl. 29).

(b). — **Machines horizontales à un cylindre.**

Machine Corliss à cylindre de  $550 \times 1100$  (*Portefeuille économique*, 1885, p. 81 et pl. 25 à 28).

Machine Corliss de Farcot, à cylindre de  $1000 \times 1800$ , distributeurs dans les fonds, volant de 10 mètres de diamètre (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, 32, p. 647 et pl. 50; *Génie civil*, 7 décembre 1889, p. 149).

Machine Jean et Peyrusson, avec tiroirs plans à déclié, à cylindre de  $350 \times 900$ ; les tiroirs d'échappement sont actionnés par la tête de piston vers les fonds de course (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 58 et pl. 32).

Machine à distributeur rotatif Biérix (*Congrès*

*de mécanique appliquée*, II, p. 69 et pl. 42 à 45).

(c). — **Machines horizontales à deux cylindres sur deux manivelles.**

Compound horizontale Sulzer, à cylindres de 500 et 800  $\times$  1400 ; 75 tours (BUCHETTI, 1889, p. 132, pl. 26).

Compound horizontale Corliss (*Musgrave and Sons*), de 2000 chevaux ; cylindres de 1065 et 1830  $\times$  1830 ; 50 tours ; pression initiale 8<sup>kg</sup>,5 ; bâti à bayonnette avec appui continu sur la fondation (*The Engineer*, 1890, 2<sup>e</sup> semestre, p. 278).

(d). — **Machines horizontales à cylindres en tandem.**

Machines à deux cylindres de 505 et 915  $\times$  1525 (*Engineering*, 1886, 1<sup>er</sup> semestre, p. 189).

Machine tandem, à soupapes et obturateurs oscillants, de Windsor, à cylindres de 520 et 900  $\times$  1250 ; 60 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 78 et pl. 49).

Machine tandem à cylindres de 350 et 525  $\times$  700 avec distribution par soupapes ; 90 tours (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1892, p. 142 et pl. III).

Machine Woolf tandem à distributeur tournant

- Biétrie, avec deux groupes sur manivelles à angle droit (*Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 3<sup>e</sup> série, t. V, p. 130 et pl. 4).
- Machine à triple expansion de la Société alsacienne, à distribution Frikart, deux manivelles et trois cylindres de 400, 500 et 900  $\times$  1200 ; 70 tours ; enveloppes de vapeur aux cylindres et aux deux réservoirs (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1891, p. 1139 et pl. 32).
- Machine à triple expansion Powell, à quatre cylindres, deux à deux en tandem, de 280, 400, 470 et 510  $\times$  900 (les deux derniers remplaçant un cylindre unique à basse pression) ; 70 tours (BUCHETTI, 1889, p. 126 et pl. 34).
- Machine à quadruple expansion sur deux manivelles, à cylindres de 432, 572, 768 et 1066  $\times$  1524 ; 45 tours (UHLAND, 1878, p. 105 et feuille 13).
- Machine Sulzer à triple expansion avec cylindres à simple effet de 325, 525 et 700  $\times$  750, à tige unique ; 85 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 105 et pl. 75).

(e). — Types divers de grands moteurs d'ateliers.

- Machine de la C<sup>ie</sup> P.-L.-M., sur bâti triangulaire, à deux cylindres inclinés de 500  $\times$  700 ; dé-

- tente Meyer ; 60 tours (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, vol. 11, p. 379 et pl. 26).
- Machine compound à un cylindre horizontal et un cylindre vertical sur manivelle unique (380 et 650 × 650) ; 70 tours (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, 29, p. 72 et pl. 7).
- Machine horizontale de Theiss, à triple expansion, sur trois manivelles ; trois cyl. de 300, 480 et 700 × 500 ; 75 tours (BUCHETTI, *Supplément*, 1888, p. 21, pl. 15).
- Machine à triple expansion à trois cylindres superposés de 210, 337 et 534 × 1220, de Rhodes et Critchley (*Engineering*, 1889, 1<sup>er</sup> semestre, p. 264).
- Compound pilon Corliss de 1,000 chevaux (VAN DEN KERCHOVE), à cylindres de 740 et 1320 × 1450 (*The Engineer*, 1890, 1<sup>er</sup> semestre, p. 302).

#### B. MOTEURS A MOYENNE VITESSE

##### (f). — Machines horizontales.

- Machine horizontale à cylindre de 750 × 1000, avec détente variable par coulisse de Gooch, actionnée par régulateur avec servo-moteur ; 80 à 120 tours (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1891, p. 487).

Machine à quatre tiroirs Corliss sans déclie, de Lecouteux et Garnier, à cylindre de  $457 \times 500$ , et 180 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, t. II, p. 113 et pl. 79).

Machine tandem Deville Châtel, à détente Frikart sans déclie, à cylindres de  $220$  et  $400 \times 400$ , 175 tours (*Congrès de mécanique appliquée*; II, p. 87 et pl. 57).

Machine compound à distribution Bonjour, avec tiroirs divisés; cylindres de  $450$  et  $780 \times 900$ ; 90 tours (BUCHETTI, *Supplément*, 1888, p. 12 et pl. 9).

Machine à triple expansion Märky, Bromovsky et Schultz, à trois cylindres de  $200$ ,  $330$  et  $520 \times 700$  sur deux manivelles; 104 tours (*Portefeuille économique*, 1889, p. 20).

(h). — **Machines pilon.**

Compound de Cail, à cylindres de  $435$  et  $700 \times 700$  et 100 tours; tiroirs cylindriques (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 72 et pl. 46).

Machines compound pilon Collmann à deux cylindres de  $625$  et  $950 \times 700$ , sur manivelles à  $180^\circ$ , à axes très rapprochés; tiroirs cylindriques concentriques et à double admission; 125 tours (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1891, p. 1435 et pl. 37).

- Machine pilon à triple expansion, à trois cylindres de de 500, 770 et 1200  $\times$  600 ; tiroirs cylindriques et à double orifice ; 80 à 120 tours (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1891, p. 1440 et pl. 38).
- Machine à triple expansion à quatre cylindres de 390, 580, 720 et 720  $\times$  450, sur deux manivelles, de Weyher et Richmond ; 130 tours ; *Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 118 et pl. 89).
- Machine Woolf pilon QuérueI, à cylindres de 400 et 800  $\times$  1000 et manivelles à 180° (BUCHETTI, 1881, p. 114 et pl. 36).

## C. MOTEURS A GRANDE VITESSE

## (i). — Machines horizontales.

- Machine Armington et Sims (*Portefeuille économique*, 1888, p. 131 et pl. 37).
- Machine Straight line, à tiroirs séparés pour l'admission et l'échappement ; cylindre de 355  $\times$  406, 200 tours (BUCHETTI, 1889, p. 67 et, pl. 17).
- Machine Straight line à un seul tiroir (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 115 et pl. 81 ; *Engineering*, 1891, 1<sup>er</sup> semestre, p. 517).
- Machine Dœrfel Proell, à distributeur oscillant (BUCHETTI, *Supplément*, 1888, p. 31 et pl. 17).

Machine à tiroir rotatif Meyer, compound à deux cylindres de 120 et 180  $\times$  120; 900 tours (*Portefeuille économique*, 1889, p. 7 et pl. 3).

(j). — **Machines verticales.**

Machine compound à arbre central, et bielles en retour, actionnant directement une dynamo Sautter Lemonnier, à cylindres de 150 et 250  $\times$  170; 350 tours; détente Meyer au cylindre à haute pression; dimensions totales de l'ensemble (pour 30 chevaux), 2<sup>m</sup>  $\times$  1<sup>m</sup>,05 sur 1<sup>m</sup>,40 de hauteur (BUCHETTI, 1889, p. 8 et pl. III).

(k). — **Machines pilon.**

Machine à un cylindre avec tiroir cylindrique, Lecouteux et Garnier; 300 à 600 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 115 et pl. 83).

Machine compound tandem, à cylindres de 200 et 300  $\times$  300 et distribution par tiroirs oscillants Dörfel Proell; 250 tours (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1892, p. 68).

Machine compound Hoffmann, à tiroirs concentriques; régulateur dans le volant du troisième genre; cylindres de 400 et 600  $\times$  600;



- manivelles à  $180^{\circ}$ ; 300 tours (*Portefeuille économique*, 1890, p. 49 et pl. 14).
- Machine à triple expansion Sachsenberg, à cylindres de 130, 190 et  $280 \times 240$ ; tiroirs cylindriques; échappement dans l'atmosphère; distribution avec admission variable de 40 à 70 p. 100 par un mécanisme dérivé de celui de Joy, où la coulisse est remplacée par un levier oscillant autour d'un centre qu'on peut déplacer; 370 à 400 tours. (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1892, p. 64).
- Machine à triple expansion Boulet, à cylindres de 280, 440 et  $760 \times 400$  (*Portefeuille économique*, 1890, p. 181 et pl. 50).
- Machine pilon, distributeur à rotation continue, à un cylindre de  $300 \times 200$ ; 350 à 450 tours *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, décembre 1891, p. 1,414 et pl. 35).

(l). — Machines à simple effet.

- Machine Westinghouse, 1<sup>er</sup> type, à deux cylindres non successifs (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 123, pl. 91).
- Machine Woolf à cylindres concentriques de Brotherhood, à cylindres de 250 et 500; 500 tours (*Engineering*, 1878, 2<sup>o</sup> semestre, p. 9).

Machine Brown à distribution centrale et cylindres Woolf concentriques (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 126 et pl. 92).

Machine Newall, Woolf à deux groupes tandem ; distribution par l'oscillation du tourillon d'articulation de la bielle sur le piston (*Engineering*, 1889, 1<sup>er</sup> semestre, p. 391).

Machine Woolf à deux cylindres opposés (175 à 200 tours) par MM. Mailliet (*Portefeuille économique*, 1888, p. 25 et pl. 9).

Machine Willans à triple expansion et distribution par tige centrale, à cylindres de 130, 170 et 250  $\times$  105 (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 109 et pl. 76. Voir aussi le *Génie civil*, février 1892, p. 279).

Machine à triple expansion à simple effet, verticale tandem, très ramassée, de Rebourg ; cylindres de 86, 225 et 270  $\times$  150 ; 400 tours (FREYTAG, p. 59).

#### D. LOCOMOBILES ET MACHINES DEMI-FIXES

(m). — **Machines horizontales sur chaudières.**

Locomotive à un cylindre de 180  $\times$  300 ; 170 tours (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, 14, p. 100 et pl. 6).

Locomotive compound à cylindres de 254 et

- 413 × 407 (*Engineering*, 1889, 2<sup>e</sup> semestre, p. 546).
- Locomotives routières compound : *The Engineer*. 1887, 2<sup>e</sup> semestre, p. 42, et 1888, 1<sup>er</sup> semestre, p. 345.
- Locomotive routière avec appareil de traction par câble (*The Engineer*, 1890, 2<sup>e</sup> semestre p. 43).
- Machine demi-fixe compound de Chaligny, à cylindres de 175 et 310 × 360 ; 110 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 81 et pl. 52).
- Machine demi-fixe compound de Bourdon, à chaudière cylindrique, avec cylindres de 330 et 560 × 560 ; 85 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 90 et pl. 63).
- (n). — **Machines horizontales sous chaudière.**
- Machine demi-fixe Compound de la Société alsacienne, à cylindres de 260 et 400 × 500 ; 135 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 67 et pl. 40).
- Machine montée sur truck pour transport par chemin de fer, de Bourdon, à deux cylindres de 340 × 450, placés près du foyer, l'arbre moteur étant sous la boîte à fumée. (*Portefeuille économique*, 1890, p. 181 et pl. 50).

*(o).* — **Machines de petite puissance.**

Machine portative verticale à deux cylindres de  $180 \times 330$ ; 100 tours (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, vol. 17, p. 35 et pl. 3).

Moteur Friedrich de deux chevaux, à cylindre vertical de  $135 \times 140$ ; 120 tours; foyer à trémie et condenseur à surface (*Portefeuille économique*, 1886, p. 85, pl. 25-26).

Moteur atmosphérique Hathorn Davey, à condensation, avec vapeur à la pression de l'atmosphère (*Revue technique de l'Exposition de 1889*, 6<sup>e</sup> partie, t. II, p. 414).

Machine verticale Hoffmeister, à cylindre de  $135 \times 150$  dans la vapeur, avec condenseur à surface (KNOKE, p. 318).

Machine Chameroy, verticale à simple effet, à injection d'eau dans le cylindre chauffé (*Revue technique de l'Exposition de 1889*, 6<sup>e</sup> partie, t. II, p. 433).

Machine à vapeur de 3 kg. m. par seconde, chauffée au gaz, de Friedrich (KNOKE, p. 333).

*(p).* — **Moteurs pour treuils, grues, etc.**

Grue roulante avec moteur unique à deux cylindres (*Portefeuille économique*, 1890, p. 88 et pl. 26).

## E. MACHINES POUR APPLICATIONS SPÉCIALES

## (7). — Machines d'extraction.

Machine d'extraction à deux cylindres horizontaux de  $1000 \times 1700$ , à détente Guinotte (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, vol. 22, p. 389, pl. 32 à 34).

Machine d'extraction à deux cylindres horizontaux de  $850 \times 1800$ ; détente Rider commandée par régulateur (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, vol. 31, p. 409, pl. 35).

Machine d'extraction de Marcinelle et Couillet, à deux cylindres horizontaux de  $1050 \times 1600$ ; distribution par soupapes (FREYTAG, p. 84).

Machine d'extraction pilon de Harris's Navigation; cylindres de  $1,37 \times 2,13$ ; distribution à soupapes (*Proceedings of the institution of civil engineers*, LXIV, p. 48 et pl. 3).

Machine d'extraction pilon compound de Calumet et Hecla (cylindres de  $1018$  et  $1780 \times 1830$ ; distribution par quatre tiroirs à grille). Le réservoir intermédiaire est un réchauffeur à vapeur. L'arbre des bobines n'est commandé que par une seule bielle, par l'intermédiaire d'un plateau balancier sur lequel s'articulent les deux bielles des cylindres (*Engineering*, 1881, 2<sup>e</sup> semestre, p. 166 et 184).

(r). — **Machines d'épuisement.**

Machine de Cornouailles (COMBES, *traité de l'exploitation des mines*, t. III, p. 486 et pl. LIX à LXII).

Machine compound tandem horizontale, commandant deux tiges par renvois de sonnette, à cylindres de 1145 et 1830  $\times$  3050, avec distribution par cataracte; nombre maximum de coups de pompe : 12 (*The Engineer*, 1890, 2<sup>e</sup> semestre, p. 230).

Machine compound tandem à traction directe, des mines de Bruay, à cylindres de 650 et 1200  $\times$  2500; coups doubles par minute, 8 au maximum (HATON DE LA GOUPILLIÈRE, *Exploitation des mines*, II, p. 284).

Machine compound verticale, à deux cylindres juxtaposés de 1435 et 2870  $\times$  3050, avec distribution différentielle Davey, et balanciers de renvoi (*Engineering*, 1876, 2<sup>e</sup> semestre, p. 421).

Pompe Davey à commande directe et distribution différentielle Davey, à deux cylindres horizontaux en tandem (*Engineering*, 1875, 2<sup>e</sup> semestre, p. 412).

Machine horizontale compound tandem, à volant, pour commande par matresse tige d'une pompe au fond d'un puits; cylindres de 640 et 1280  $\times$  900 (*Bulletin de la Société de l'In-*

*dustrie minérale*, 2<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 816 et pl. 18).

Machine souterraine d'épuisement de Marles, avec volant, à deux cylindres de  $650 \times 850$  et pompes de  $170 \times 850$  (*Portefeuille économique*, 1886, p. 1 et pl. 1 à 4).

Machine d'épuisement souterraine compound à deux cylindres horizontaux de  $600$  et  $1000 \times 800$  sur manivelles à  $90^\circ$  (*Revue technique de l'Exposition de 1889*, 4<sup>e</sup> partie, 2<sup>e</sup> fascicule, p. 42 et pl. 25-34).

(s) **Machines élévatoires.**

Machines élévatoires pour Birmingham, type de Cornouailles, à cylindre de  $1520 \times 3350$  (*Engineering*, 1881, 2<sup>e</sup> semestre, p. 209, 255 et 304).

Machine Davey à bras de levier compensateurs, pour Hampton ; deux cylindres inclinés de  $660$  et  $1117 \times 1220$  ; 16 coups par minute (*Engineering*, 1892 1<sup>er</sup> semestre, p. 494. Voir aussi *The Engineer*, 1888, 1<sup>er</sup> semestre p. 33).

Machine Davey à bras de levier compensateurs, pour Fradley ; deux cylindres horizontaux en tandem de  $686$  et  $1270 \times 1524$ . (*ibid.*, p. 495).

Compound à balancier, pour distribution d'eau à Croydon, à cylindres de  $508 \times 1220$  et  $865 \times 1825$ , actionnant une pompe au fond d'un puits de 60 mètres ; 20 tours (*The Engineer*, 1890, 2<sup>e</sup> semestre, p. 166).

Machine Whcelock pour élévation d'eau à Bercy, à un cylindre horizontal de  $800 \times 1600$  ; 23 tours (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, 32, p. 393 et pl. 19).

Pompe Worthington compound, à cylindres de  $458$  et  $915 \times 610$  et pistons compensateurs (*Engineering*, 1886, 2<sup>e</sup> semestre, p. 339).

Moteur compound à détente Meyer pour pompes d'accumulateur, à cylindres de  $360$  et  $610 \times 600$  ; 40 à 50 tours (*Revue générale des chemins de fer*, 1890, 2<sup>e</sup> semestre, p. 4).

Machines Corliss actionnant les pompes centrifuges du Khatatbeh, à axe vertical et cylindres de  $1000 \times 1800$  ; 32 tours (*Portefeuille économique*, 1887, p. 17 et pl. 5 à 8).

(t). — **Machines soufflantes, compresseurs.**

Machine horizontale à un cylindre moteur de  $940 \times 1880$  ; 25 tours (*Engineering*, 1878, 2<sup>e</sup> semestre, p. 28).

Machine verticale Woolf de la Société Cockerill, à cylindres moteurs de  $850$  et  $1200 \times 2500$



(DENY, *Machines soufflantes*, 2<sup>e</sup> édition, p. 223 et pl. 1 et 2).

Machines soufflantes à balancier de Rumpf, à l'usine de Crown point; cylindre moteur de  $1275 \times 3800$  (*Engineering*, 1878, 1<sup>er</sup> semestre, p. 208).

Machine soufflante verticale tandem à balancier, de Sparrow point (Pennsylvanie) : cylindre moteur de  $1118 \times 1524$ ; distribution à soupapes (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1891, p. 457).

Compresseur pilon tandem Brotherhood, à trois cylindres (*Engineering*, 1889, 1<sup>er</sup> semestre, p. 584 et 587).

Petit cheval Westinghouse (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, vol. 24, p. 299 et pl. 25).

(u). — Machines de laminoirs.

Machine Corliss du Creusot, à cylindre de  $1000 \times 1600$ ; 60 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 44 et pl. 11).

Machine compound Corliss pilon en tandem, à cylindres de  $356$  et  $610 \times 610$ ; 80 tours (*Engineering*, 1885, 2<sup>e</sup> semestre, p. 603).

Machine horizontale reversible, du Creusot, à deux cylindres de  $1200 \times 1500$ , tiroirs cylindriques et coulisse d'Allan à servo-moteur

(*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 39 et pl. 5).

Machine horizontale reversible, compound, à deux groupes tandem, tiroirs cylindriques et coulisse de Stephenson à servo-moteur, cylindres de 915 et  $1375 \times 1800$  (*Engineering*, 1878, 1<sup>er</sup> semestre, p. 388 et 430).

(v). — **Marteaux pilons.**

Marteau à simple effet de 5 tonnes, à distribution par soupapes; cylindre de  $600 \times 2000$  (CHOMIENNE, pl. 6).

Marteau à simple effet de 10 tonnes à distribution par tiroir cylindrique; cylindre de  $900 \times 2500$  (CHOMIENNE, pl. 6).

Marteau pilon à simple effet Marrel, de 100 tonnes, à cylindre de  $2000 \times 5100$  (CHOMIENNE, pl. 10).

Marteau pilon de 300<sup>kg</sup> à double effet à un jambage; cylindre de  $300 \times 850$  (CHOMIENNE, pl. 12).

Marteau pilon à double effet de 15500<sup>kg</sup>, à cylindre de  $1010 \times 2750$  (CHOMIENNE, pl. 16).

Marteau pilon à détente Woolf (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1890, p. 1386).

(w). — **Applications diverses.**

Machine horizontale Sulzer, pour touage sur câble, à deux cylindres de  $360 \times 600$  (*Engineering*, 1873, 2<sup>e</sup> semestre, p. 415).

- Machine à deux cylindres inclinés de  $305 \times 610$ , pour touage sur chaîne (*Engineering*, 1874, 1<sup>er</sup> semestre, p. 103).
- Drague avec machines horizontale et pilon (*Génie civil*, 30 août 1890, p. 274 et pl. 18).
- Scie à mouvement rectiligne non transformé, pour abattre et tronçonner les arbres, de A. Ransome ; l'appareil est monté sur un train de roues et relié par un tuyau flexible à une chaudière portative. (*Engineering*, 1892, 1<sup>er</sup> semestre, p. 496).
- Scie à mouvement rectiligne non transformé, d'Arbey, pour abattre et tronçonner. (*L'outillage de l'entreprise et de l'industrie*, janvier 1892, p. 3).

## F. LOCOMOTIVES

## (x). — Locomotives à deux cylindres séparés.

- Locomotive de la Compagnie des chemins de fer du Nord, à cylindres intérieurs de  $480 \times 600$ , et quatre roues couplées de  $2^m, 100$  (*Revue générale des chemins de fer*, 1889, 2<sup>e</sup> semestre, p. 203 et pl. 13).
- Locomotive du Great Northern Railway, à cylindres extérieurs de  $460 \times 710$ , et essieux indépendants, avec roues de  $2^m, 450$  (*The Engineer*, 1888, 1<sup>er</sup> semestre, p. 469).

Locomotive américaine, à quatre essieux couplés, du Pennsylvania R. R. ; cylindres extérieurs de  $508 \times 610$  (*Revue générale des chemins de fer*, 1887, 2<sup>e</sup> semestre, p. 19 et pl. 3).

Locomotive à crémaillère Abt, à double mécanisme (*Revue générale des chemins de fer*, 1888, 2<sup>e</sup> semestre, p. 23 et pl. 3).

Locomotive à crémaillère de la Höllenthalbahn, à double mécanisme. (*Génie civil*, 6 décembre 1890, p. 86).

(y). — **Locomotives compound.**

Locomotive de M. Mallet pour le chemin de fer de Bayonne à Biarritz, à deux cylindres extérieurs de  $280$  et  $420 \times 550$  (ARMENGAUD, *Publication industrielle*, vol. 25, p. 31 et pl. IV).

Locomotive compound Worsdell du North Eastern Railway, à cylindres de  $460$  et  $660 \times 610$  (*Revue générale des chemins de fer*, 1887, 1<sup>er</sup> semestre, p. 232 et pl. 12).

Locomotive compound à trois cylindres de  $432$ ,  $500$  et  $500 \times 700$ , de la C<sup>ie</sup> du chemin de fer du Nord (*Revue générale des chemins de fer*, 1889, 2<sup>e</sup> semestre, p. 164 et pl. 10 à 12).

Locomotive Webb à trois cylindres (deux à haute pression, un à basse pression) (*Revue générale des chemins de fer*, 1885, 1<sup>er</sup> semestre, p. 75).

Dernières dispositions, *ibid.*, 1890, 2<sup>e</sup> semestre, p. 116).

Locomotive articulée de M. Mallet pour voie d'un mètre, à quatre cylindres de 250, 250, 380 et 380  $\times$  460 (*Revue générale des chemins de fer*, 1891, 2<sup>e</sup> semestre, p. 92).

Locomotive à quatre cylindres Woolf, superposés deux à deux, de Baldwin (*Revue générale des chemins de fer*, 1890, 2<sup>e</sup> semestre, p. 220 et 1892, 1<sup>er</sup> semestre, p. 55).

#### G. MACHINES MARINES

##### (z). — Machines à roues.

Machine Woolf verticale à balancier de 42 tonnes du « Puritan » (1887), à cylindres de 1905  $\times$  2750 et 2795  $\times$  4270 (*Engineering*, 1891, 1<sup>er</sup> semestre, p. 64).

Machines à balanciers inférieurs du « Labrador » (1842) et de l'« Impératrice Eugénie » (1862) (*Génie civil*, 16 novembre 1889, p. 73 et pl. 5 et 14).

Machine oscillante à simple détente de l'« Ireland », à deux cylindres de 2600  $\times$  2600 ; pression des chaudières, 2 kg. ; 27 tours, travail indiqué 6300 chevaux. (*Revue technique de l'Exposition de 1889*, n<sup>o</sup> 35, p. 380 et pl. 57).

Machine compound à cylindres inclinés de 560 et 1000  $\times$  1000; 28,5 tours (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1891, p. 777).

Machine verticale avec deux tiges reliées par traverse pour abaisser l'articulation de la bielle (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1891, p. 743 et pl. 20).

Machine à triple expansion à clocher du paquebot « Violet », à cylindres de 1120, 1780 et 2950  $\times$  1980 (*The Engineer*, 1891, 1<sup>er</sup> semestre, p. 296).

Machine compound oscillante pour appareil à roues, à cylindres de 844 et 1460  $\times$  960; 40 tours (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1891, p. 831, pl. 23).

Machine compound du « Rouen », avec deux groupes à cylindres superposés, un horizontal, l'autre incliné, de 1170 et 2115  $\times$  1830 (*The Engineer*, 1889, 1<sup>er</sup> semestre, p. 217).

(aa). — **Machines pilon simples & compound.**

Machines compound à deux cylindres de 830 et 1600  $\times$  1000, à tiroirs plans de la « Ville de Pernambuco » (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 148 et pl. 97).

Machine compound à trois cylindres (un à haute pression, deux à basse pression) de 1570, 2020

et  $2020 \times 1000$  du « Formidable » (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 164 et pl. 134 à 137).

Machine tandem à deux groupes Woolf, tiroirs cylindriques, du bac « Cincinnati » ; cylindres de  $457$  et  $914 \times 660$  (*Engineering*, 1892, 1<sup>er</sup> semestre, p. 71).

Machine compound à trois groupes tandem de « la Bourgogne » ; cylindres de  $1070$  et  $2030 \times 1700$  (*Revue technique de l'Exposition de 1889*, n° 35, pl. 78-79).

(bb). — **Machines pilon à plusieurs expansions.**

Machine à triple expansion de l' « Eugène Péreire », à cylindres de  $800$ ,  $1240$  et  $2000 \times 1240$  (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 156 et pl. 123 à 128).

Machine à triple expansion à quatre cylindres de  $432$ ,  $432$  (deux demi-cylindres à haute pression)  $965$  et  $1525 \times 1065$ , deux à deux en tandem (*Engineering*, 1885, 1<sup>er</sup> semestre, p. 675).

Petite machine pilon à triple expansion à deux manivelles, avec les deux premiers cylindres coulés côte à côte : cylindres de  $112$ ,  $165$  et  $330 \times 305$ , pour les bateaux de la « Clyde » (*Engineering*, 1889, 1<sup>er</sup> semestre, p. 411).

Machine à triple expansion à trois cylindres com-

mandant chacun un arbre d'hélice, pour bateaux plats de rivière; les trois arbres sont reliés par deux bielles d'accouplement; 300 tours (*Engineering*, 1891, 2<sup>e</sup> semestre, p. 209).

Machine à quadruple expansion du « Buenos-Ayres », à cylindres de 813, 1182, 1639 et 2339  $\times$  1523, formant deux groupes tandem: pression aux chaudières 12<sup>ks</sup>,6 (*Engineering*, 1888, 2<sup>e</sup> semestre, p. 415).

Machine à quadruple expansion de 1000 chevaux, du système Fleming et Fergusson: quatre cylindres en carré, de 432, 635, 865 et 1270  $\times$  837, commandant deux manivelles à 180°; 96 tours; pression de la vapeur, 11 kilogrammes (*The Engineer*, 1890, 2<sup>e</sup> semestre, p. 272; voir aussi *Engineering*, 1888, 1<sup>er</sup> semestre, 539, et *Revue technique de l'Exposition de 1889*, n° 35, p. 402).

(cc). — **Machines marines horizontales.**

Machine à bielle en retour du « Lapérouse », compound à trois cylindres (Dupuy de Lôme) de 1380, 1700 et 1700  $\times$  850 (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 165 et pl. 138).

Machine à fourreau à deux cylindres de 2500  $\times$  1100; 41 tours (LEDIEU, *Traité élémentaire des appareils de navigation*, pl. 10).



Machine compound du « Troude », à connexion directe (deux hélices); cylindres de 940 et 1880  $\times$  915 (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 150 et pl. 101 à 106).

Machine à triple expansion des garde-côtes japonais, à connexion directe (deux hélices); cylindres de 390, 620 et 1440  $\times$  1000 (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 160 et pl. 140).

(*dd*). — **Machines de torpilleurs.**

Machine compound pilon pour torpilleur, par Normand (cylindres de 440 et 692  $\times$  440; 320 tours, coulisse de Stephenson et tiroirs à double introduction (*Ingénieurs civils*, p. 854 et pl. 25 à 27, 1890).

Machine pilon à triple expansion des torpilleurs Roumains, cylindres de 310, 450 et 680  $\times$  380 (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 167 et pl. 144).

Machine compound pilon White pour canot, par Chaligny; cylindres de 101 et 178  $\times$  127; 375 à 450 tours. (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 152 et pl. 109 à 112).

## H. MACHINES SPÉCIALES ET DIVERSES

*(ee)*. — **Machines rotatives.**

Machines Behrens (LEDIEU, *Nouvelles machines marines*, t. III, p. 204).

Machine Bonjour, avec deux pistons compound à angle droit (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 130 et pl. 94).

*(ff)*. — **Machines pseudo-rotatives.**

Machine Brotherhood, à trois cylindres (LEDIEU, *Nouvelles machines marines*, t. III, p. 197).

*(gg)*. — **Machines à réaction.**

Turbine à vapeur Parsons; 10.000 tours (*Congrès de mécanique appliquée*, II, p. 131 et pl. 95).

Type nouveau de Parsons, dans la *Lumière électrique* (janvier 1891, p. 131).

Turbine à vapeur de Dow, centrifuge (*Railroad Gazette*, janvier 1890, p. 56).

*(hh)*. — **Pulsomètres, injecteurs.**

Pulsomètre double (HARTMANN, *die Pumpen*, p. 440).

Injecteur non aspirant de Friedmann (*Revue gé-*

*nérale des chemins de fer*, 1882, 2<sup>e</sup> semestre, p. 365 et fig. 1 à 4, pl. 37).

Injecteur aspirant de Sellers (*ibid.*, p. 357 et fig. 13 et 14, pl. 37).

Injecteur à vapeur d'échappement Hamer et Davie (*ibid.*, fig. 9, pl. 37).

Injecteur à vapeur d'échappement Holden et Brooke (*The Engineer*, 1892, 1<sup>er</sup> semestre, p. 190).

(ii). -- **Servo-moteurs.**

Servo-moteur Stirling pour changement de marche de locomotive, à commande directe avec cylindre à huile (*Portefeuille économique*, 1889, p. 40 et pl. 12)

Servo-moteur Fouquemberg, pour changement de marche, à déplacement rectiligne, avec tiroir commandé par le levier de manœuvre et ramené par le piston moteur (*Portefeuille économique*, p. 169, 1889).

#### I. MACHINES A VAPEURS AUTRES QUE CELLE DE L'EAU

(kk). — **Machines à vapeur de pétrole.**

Machine pour canot de Yarrow (*Génie civil*, Juillet 1888, p. 173).



# TABLE DES MATIÈRES

---

## CHAPITRE PREMIER

### *Classification des moteurs*

	Pages.
Modes divers de classification . . . . .	5
Classification adoptée . . . . .	8

## CHAPITRE II

### *Grands moteurs d'ateliers (A)*

Machines à balancier (a) . . . . .	12
Machines horizontales à un cylindre (b). . . . .	14
Machines horizontales à deux cylindres sur deux manivelles (c) . . . . .	16
Machines horizontales à cylindres en tandem (d). . . . .	18
Types divers de grands moteurs d'ateliers (e) . . . . .	20

## CHAPITRE III

### *Moteurs à moyenne vitesse (B)*

Machines horizontales (f). . . . .	22
------------------------------------	----

	Pages.
Machines verticales ( <i>g</i> ) . . . . .	24
Machines pilon ( <i>h</i> ) . . . . .	24

## CHAPITRE IV

*Moteurs à grande vitesse (C)*

Considérations générales . . . . .	26
Machines horizontales ( <i>i</i> ) . . . . .	28
Machines verticales ( <i>j</i> ) . . . . .	29
Machines pilon ( <i>k</i> ) . . . . .	29
Machines à simple effet ( <i>l</i> ) . . . . .	30

## CHAPITRE V

*Locomobiles et machines demi-fices (D)*

Machines horizontales sur chaudière, locomotives routières, etc. ( <i>m</i> ) . . . . .	34
Machines horizontales sous chaudière ( <i>n</i> ) . . . . .	35
Machines de petite puissance ( <i>o</i> ) . . . . .	36
Moteurs de treuils, grues, etc. ( <i>p</i> ) . . . . .	38

## CHAPITRE VI

*Machines pour applications spéciales (E)*

Machines d'extraction ( <i>q</i> ) . . . . .	39
Machines d'épuisement ( <i>r</i> ) . . . . .	42
Pompes en reprise . . . . .	42
Pompes avec moteur intérieur . . . . .	47
Machines élévatoires ( <i>s</i> ) . . . . .	47
Moteurs des pompes d'accumulateur . . . . .	50

	Pages.
Irrigations, dessèchements, etc. . . . .	51
Machines à mouvement rectiligne non transformé.	52
Machines soufflantes, compresseurs ( <i>t</i> ) . . . . .	54
Machines de laminoirs ( <i>u</i> ). . . . .	56
Marteaux pilons ( <i>v</i> ) . . . . .	57
Applications diverses ( <i>w</i> ). . . . .	58

## CHAPITRE VII

*Locomotives (F)*

Locomotives à deux cylindres séparés ( <i>x</i> ) . . . . .	59
Locomotives compound ( <i>y</i> ) . . . . .	63

## CHAPITRE VIII

*Machines marines (G)*

Machines à roues ( <i>z</i> ). . . . .	66
Machines pilon simples et compound ( <i>aa</i> ). . . . .	69
Machines pilon à plusieurs expansions ( <i>bb</i> ) . . . . .	70
Machines pilon pour marine militaire . . . . .	73
Machines marines horizontales ( <i>cc</i> ) . . . . .	74
Machines de torpilleurs ( <i>dd</i> ). . . . .	75
Généralités sur les machines marines . . . . .	76

## CHAPITRE IX

*Machines spéciales et diverses (H)*

Machines rotatives ( <i>ee</i> ). . . . .	78
Machines pseudo-rotatives ( <i>ff</i> ) . . . . .	79

	Pages.
Machines à réaction ( <i>gg</i> ) . . . . .	81
Pulsomètres, injecteurs ( <i>hh</i> ) . . . . .	82
Servo-moteurs ( <i>ii</i> ) . . . . .	85

## CHAPITRE X

*Machines à vapeurs autres que celle de l'eau (I)*

Machines à vapeurs combinées ( <i>jj</i> ) . . . . .	87
Machines à vapeur de pétrole ( <i>kk</i> ). . . . .	88

## CHAPITRE XI

*Du choix d'une machine à vapeur*

Considérations qui peuvent déterminer le choix.	90
Variations de la puissance . . . . .	91
Variations de la vitesse . . . . .	93
Facilité de la manœuvre; continuité de la marche.	94
Division et unité du moteur . . . . .	95
Sécurité . . . . .	95
Certitude de la marche. . . . .	96

## CHAPITRE XII

*Prix de revient de la puissance motrice*

Etablissement des prix de revient. . . . .	98
Dépenses d'installation. . . . .	99
Dépenses d'exploitation . . . . .	101
Prix de la puissance d'un moteur d'un cheval effectif . . . . .	103



## TABLE DES MATIÈRES

191

	Pages.
Moteurs de 5 et 10 chevaux effectifs . . . . .	104
Moteur de 50 chevaux effectifs . . . . .	106
Moteurs de 100 et 500 chevaux effectifs . . . . .	108
Locomotives . . . . .	110
Bateaux de charge . . . . .	113
Grands paquebots. . . . .	118
Remarques sur les prix de revient . . . . .	120

## CHAPITRE XIII

*Contrôle de la marche des machines*

Utilité d'un contrôle pratique . . . . .	123
Contrôle de la production de la vapeur. . . . .	125
Contrôle de la consommation de la vapeur . . . . .	130

## CHAPITRE XIV

*Application de la théorie à la construction  
des machines à vapeur*

Bases de l'étude des machines . . . . .	134
Résistance des matériaux . . . . .	135
Lois du frottement et de l'usure . . . . .	136
Théorie du travail de la vapeur . . . . .	138
Production de la vapeur . . . . .	139
Pression de la vapeur . . . . .	140
Pression au condenseur . . . . .	141
Distribution de la vapeur. . . . .	144
Enveloppes de vapeur . . . . .	146
Influence de l'humidité de la vapeur. . . . .	148
Fuites de vapeur . . . . .	150
Puissance variable . . . . .	151

## BIBLIOGRAPHIE

---

Bibliographie générale . . . . .	153
Bibliographie spéciale aux diverses catégories . . . . .	155
Exemples des principaux types . . . . .	159

---

ST-AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY, BUSSIÈRE FRÈRES

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Quai des Grands-Augustins, 55.

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

---

# LEÇONS DE CHIMIE

(à l'usage des *Élèves de Mathématiques spéciales*)

PAR

**Henri GAUTIER**

Ancien élève de l'École Polytechnique,  
Professeur de l'École Monge et au collègè Sainte-Barbe,  
Professeur agrégé à l'École de Pharmacie ;

ET

**Georges CHARPY**

Ancien Élève  
de l'École Polytechnique, professeur à l'École Monge.

---

Un beau volume grand in-8, avec 83 figures ; 1892. . . 9 fr.

---

*Ces Leçons de Chimie* présentent ceci de particulier qu'elles ne sont pas la reproduction des Ouvrages similaires parus dans ces dernières années. Les théories générales de la Chimie sont beaucoup plus développées que dans la plupart des Livres employés dans l'enseignement ; elles sont mises au courant des idées actuelles, notamment en ce qui concerne la théorie des équilibres chimiques. Toutes ces théories, qui montrent la continuité qui existe entre les phénomènes chimiques, physiques et même mécaniques, sont exposées sous une forme facilement accessible. La question des nombres proportionnels, qui est trop souvent négligée dans les Ouvrages destinés aux candidats aux Ecoles du Gouvernement, est traitée avec tous les développements désirables. Dans tout le cours du Volume, on remarque aussi une grande préoccupation de l'exactitude ; les faits cités sont tirés des mémoires originaux ou ont été soumis à une nouvelle vérification. Les procédés de l'industrie chimique sont décrits sous la forme qu'ils possèdent actuellement. L'ouvrage ne comprend que l'étude des métalloïdes, c'est-à-dire les matières exigées pour l'admission aux Écoles Polytechnique et Centrale.

En résumé, le Livre de MM. Gautier et Charpy est destiné, croyons-nous, à devenir rapidement classique.

# BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose d'environ 150 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

A côté d'ouvrages d'une certaine étendue, comme le *traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie Photographique* de M. Fournier, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

## EXTRAIT DU CATALOGUE.

**Balagny (George)**, Membre de la Société française de Photographie, Docteur en droit. — *Traité de Photographie par les procédés pelliculaires*. Deux volumes grand in-8, avec figures; 1889-1890. chaque volume se vend séparément . . . . . 4 fr.

On vend séparément :

**Tome I : Généralités. Plaques souples. Théorie et pratique des trois développements au fer, à l'acide pyrogallique et à l'hydroquinone.** . . 4 fr.

**Tome II : Papiers pelliculaires. Applications générales des procédés pelliculaires. Phototypie. Contre-Types. — Transparents** . . . 4 fr.

**Davanne.** — *La Photographie. Traité théorique et pratique*. 2 beaux volumes grand in-8, avec 234 figures et 4 planches spécimens. 32 fr.

On vend séparément :

**1<sup>re</sup> PARTIE : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves négatives. — Principes communs à tous les procédés négatifs. — Épreuves sur albumine, sur collodion, sur gélatinobromure d'argent, sur pellicules, sur papier. Avec 2 planches et 120 figures; 1886** . . . 16 fr.

**II<sup>e</sup> PARTIE : Épreuves positives : aux sels d'argent, de platine, de fer, de chrome. — Épreuves par impressions photomécaniques. — Divers : Les couleurs en Photographie. Épreuves stéréoscopiques. Projections, agrandissements, micrographie. Réductions, épreuves microscopiques. Notions élémentaires de Chimie; vocabulaire. Avec 2 planches et 114 figures; 1888** . . . . . 16 fr.

**Donnadieu (A. L.)** Docteur ès-sciences. *Traité de Photographie stéréoscopique. Théorie et pratique.* — Grand in-8 avec figures et atlas de 20 planches stéréoscopiques en photocollographie; 1892.. . 9 fr.

**Fabre (C.)**, Docteur ès-sciences. — *Traité encyclopédique de Photographie*. 4 beaux volumes, gr. in-8, avec plus de 700 figures et 2 planches; 1889-1891. . . . . 48 fr. »»

Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Tous les trois ans, un *Supplément*, destiné à exposer les progrès accomplis pendant cette période, viendra compléter ce *Traité* et le maintenir au courant des dernières découvertes.

Le premier *Supplément* est mis en souscription. Il est publié comme les précédents volumes en cinq fascicules dont le premier a paru le 15 juillet 1892. La souscription sera close le 15 décembre 1892.

Prix du supplément pour les souscripteurs. . . . . 10 fr.  
Le prix sera porté ultérieurement à . . . . . 14 fr.

**Fourtier (H.)**. — *Dictionnaire pratique de Chimie photographique*, contenant une *Etude méthodique des divers corps usités en Photographie*, précédé de *Notions usuelles de Chimie* et suivi d'une *Description détaillée des Manipulations photographiques*. Grand in-8, avec figures; 1892 . . . . . 8 fr. »»

— *Les Positifs sur verre. Théorie et pratique. Les positifs pour projections. Stéréoscopes et vitraux. Méthodes opératoires. Coloriage et montage*. Grand in-8, avec figures; 1892 . . . . . 4 fr. 50

— *La pratique des projections. Etude méthodique des appareils. Les accessoires; usages et applications diverses des projections. Conduite des séances*. 2 volumes in-18 Jésus se vendant séparément.

I. *Les appareils*, avec 66 figures; 1892; . . . . . 2 fr. 75  
II. *La séance de projections*, avec figures . . . (Sous presse).

**Londe (A.)**, Chef du service photographique à la Salpêtrière. — *La Photographie instantanée*. 2<sup>e</sup> édition. In-18 Jésus, avec belles figures; 1890 . . . . . 2 fr. 75

— *Traité pratique du développement. Etude raisonnée des divers révélateurs et de leur mode d'emploi*. 2<sup>e</sup> édition. In-18 Jésus, avec figures et 4 doubles planches en photocollographie; 1892 . . . . . 2 fr. 75

**Mercier (P.)**, Chimiste, Lauréat de l'Ecole supérieure de Pharmacie de Paris. — *Virages et fixages. Traité historique, théorique et pratique*. 2 vol. in-18 Jésus; 1892 . . . . . 5 fr.

On vend séparément :

I<sup>re</sup> Partie : *Notice historique. Virages aux sels d'or*. . . . . 2 fr. 75

II<sup>e</sup> Partie : *Virages aux divers métaux. Fixages* . . . . . 2 fr. 75

**Trutat (E.)**, Docteur ès-sciences, Directeur du Musée d'Histoire naturelle de Toulouse. — *Traité pratique des agrandissements photographiques*. 2 vol. in-18 Jésus, avec 105 figures; 1891.

I<sup>re</sup> PARTIE : *Obtention des petits clichés; avec 53 figures* . . . . . 2 fr. 75

II<sup>e</sup> PARTIE : *Agrandissements; avec 53 figures* . . . . . 2 fr. 75

— *Impressions photographiques aux encres grasses. Traité pratique de photocollographie à l'usage des amateurs*. In-18 Jésus, avec nombreuses figures et 1 planche en photocollographie; 1892 . . . . . 2 fr. 75

**Vidal (Léon)**, officier de l'Instruction publique, professeur à l'École nationale des arts décoratifs. — *Manuel pratique d'Orthochromatisme*. In-18 Jésus avec figures, 2 planches dont une en photocollographie et un spectre en couleur; 1891. . . . . 2 fr. 75

**Vieuille**. — *Nouveau guide pratique du photographe amateur*. 3<sup>e</sup> édit. refondue et beaucoup augmentée. In-18 Jésus avec fig. 1892. 2 fr. 75

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS**

*Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris*

- BARILLOT (Ernest)**, membre de la Société chimique de Paris. — **Manuel de l'analyse des vins. Dosage des éléments naturels. Recherche analytique des falsifications.** Petit in-8, avec nombreuses figures et Tables; 1889. . . . . 3 fr. 50
- BONNAMI (H.)**, Ingénieur-Directeur des usines de Pont-de-Pany et Malain, Conducteur des Ponts et Chaussées. — **Fabrication et contrôle des chaux hydrauliques et ciments. Théorie et pratique. Influences réciproques et simultanées des différentes opérations et de la composition sur la solidification. Energie. Thermodynamique. Thermochimie.** In-8, avec figures; 1888. . . . . 6 fr. 50
- BOYS (G.-V.)**, Membre de la Société Royale de Londres, — **Bulles de Savon.** Quatre conférences sur la capillarité faites devant un jeune auditoire. Traduit de l'anglais par CH.-ED. GUILLAUME, Docteur ès-sciences, avec de nouvelles Notes de l'Auteur et du Traducteur. In-18 jésus, avec 60 figures et 1 planche; 1892. . . . . 2 fr. 75 c.
- CHAPPUIS (J.)**, Agrégé, Docteur ès-sciences, Professeur de Physique générale à l'École Centrale, et **BERGET (A.)**, Docteur ès-sciences, attaché au laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne. — **Leçons de Physique générale. Cours professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures et complété suivant le programme de la Licence ès-sciences physiques.** 3 volumes grand in-8 se vendant séparément :  
**TOME I : Instruments de mesure. Chaleur.** Avec 175 figures; 1891. 13 fr.  
**TOME II : Electricité et Magnétisme.** Avec 305 figures; 1891. . 13 fr.  
**TOME III : Acoustique. Optique; Electro-optique.** Avec 193 figures; 1892. . . . . 10 fr.
- DESFORGES (J.)**, Professeur de travaux manuels à l'École industrielle de Versailles, ancien Garde d'Artillerie, ancien Chef aux ateliers des Forges et Fonderies de la Marine de l'Etat, à Ruelle. — **Cours pratique d'enseignement manuel, à l'usage des candidats aux Ecoles nationales d'Arts et Métiers et aux Ecoles d'apprentis et d'Élèves mécaniciens de la flotte, et à l'usage des aspirants au certificat d'aptitude pour l'enseignement du travail manuel des élèves des écoles professionnelles-industrielles, etc. — Ajustage. — Forge. — Fonderie. — Chaudronnerie. — Menuiserie.** In-4 oblong, comprenant 76 planches de dessins, avec texte explicatif; 1889. . 5 fr.
- ENDRÈS (E.)**, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées. — **Manuel du Conducteur des Ponts et Chaussées.** Ouvrage indispensable aux Conducteurs et Employés secondaires des Ponts et Chaussées et des Compagnies de Chemin de fer, aux Gardes-mines, aux Gardes et Sous-Officiers de l'Artillerie et du Génie, aux Agents-voyers et aux Candidats à ces emplois. *Honoré d'une souscription des Ministères du Commerce et des Travaux publics, et recommandé pour le service vicinal par le Ministre de l'Intérieur, 7<sup>e</sup> édition modifiée conformément au décret du 9 juin 1888.* 3 volumes in-8. . . . . 27 fr.

*On vend séparément :*

- TOME I : Partie théorique**, avec 407 fig.; et **tome II : Partie pratique**, avec fig., 2 vol. in-8; 1884. . . . . 18 fr.  
**TOME III : Partie technique.** In-8, avec 241 fig., 1888. . . . . 9 fr.

Ce dernier Volume est consacré à l'exposition des doctrines spéciales qui se rattachent à l'Art de l'Ingénieur en général et au service des Ponts et Chaussées en particulier.

**JUPTNER DE JONSTORFF** (Baron Hanns). — **Traité pratique de Chimie métallurgique.** Traduit de l'allemand par *E. Vlasto*, Ingénieur des Arts et Manufactures. Edition française, revue et augmentée par l'Auteur. Grand in-8, avec nombreuses figures et 2 planches; 1891 . . . . . 10 fr.

**LACOUTURE** (Charles). — **Répertoire chromatique. Solution raisonnée et pratique des problèmes les plus usuels dans l'étude et l'emploi des couleurs.** 29 TABLEAUX EN CHROMO représentant 952 teintes différentes et définies, groupées en plus de 600 gammes typiques. In-4, contenant un texte de xi-144 pages, vrai traité de la science pratique des couleurs, accompagné de nombreux diagrammes, et suivi d'un atlas de 29 tableaux en chromo qui offrent à la fois l'illustration du texte et de nouvelles ressources pour les applications; 1890. (*Ouvrage honoré de la MÉDAILLE D'OR de la Société industrielle du Nord de la France, 18 janvier 1891.*)

Broché. . . . . 25 fr. | Cartonné. . . . . 30 fr.

**LÉVY** (Maurice), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France et à l'École Centrale des Arts et Manufactures. — **La Statique graphique et ses applications aux constructions.** 2<sup>e</sup> édition. 4 vol. grand in-8, avec 4 Atlas de même format. (*Ouvrage honoré d'une souscription du ministère des Travaux publics.*)

I<sup>re</sup> PARTIE : *Principes et applications de la Statique graphique pure.*  
Gr. in-8 de xxviii-549 pages, avec Atlas de 26 pl; 1886. . . . . 22 fr.

II<sup>o</sup> PARTIE. — *Flexion plane. Lignes d'influence. Poutres droites.*  
Gr. in-8 de xiv-345 pages, avec un Atlas de 6 pl; 1886 . . . . . 15 fr.

III<sup>o</sup> PARTIE. — *Arcs métalliques. Ponts suspendus rigides. Coupoles et corps de révolution.* Grand in-8 de ix-418 pages avec un Atlas de 6 planches; 1887. . . . . 17 fr.

IV<sup>o</sup> Partie. — *Ouvrages en maçonnerie. Systèmes réticulaires à lignes surabondantes. Index alphabétique des quatre Parties.* Grand in-8 de x-350 pages, avec Atlas de 4 planches; 1888. . . . . 15 fr.

**MIQUEL.** — **Manuel pratique d'Analyse bactériologique des eaux.** In-18 jésus, avec figures; 1891. . . . . 2 fr. 75 c.

**ITZ** (Aimé), Docteur ès-sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur aux Facultés catholiques de Lille. — **Cours de manipulations de Physique, préparatoire à la Licence** (ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE); Un beau volume in-8, avec 166 figures; 1883. 12 fr.

**WITZ** (Aimé). — **Exercices de Physique et applications, préparatoires à la Licence** (ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE). In-8, avec 114 figures; 1889. . . . . 12 fr.

**YROUBOFF** (G.). — **Manuel pratique de Cristallographie. Détermination des formes cristallines.** In-8, avec figures et 6 planches en taille-douce; 1889. . . . . 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS  
Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

# COURS DE PHYSIQUE

DE  
L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PAR M. J. JAMIN

QUATRIÈME ÉDITION

AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE,

PAR

M. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre Tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET) . . . . . 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 fig. et 1 planche . . . . . 5 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures . . . . . 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Thermométrie. Dilatations*; avec 98 fig. . . . . 5 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches . . . . . 5 fr.  
3<sup>e</sup> fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures . . . . . 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures. . . . . 4 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches. . . . . 4 fr.  
3<sup>e</sup> fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur . . . . . 14 fr.

(\*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1<sup>er</sup> fascicule ; Tome II, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules ; Tome III, 2<sup>e</sup> fascicule.



**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS**

**TOME IV (1<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.**

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 fig. et 1 planche . . . . . 7 fr.  
 2<sup>e</sup> fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 fig. et 1 planche . . . . . 6 fr.

**TOME IV. — (2<sup>e</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.**

- 3<sup>e</sup> fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Electromagnétisme. Induction*; avec 240 figures. . . . . 8 fr.  
 4<sup>e</sup> fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 fig. et 1 pl. . . . . 5 fr.

**TABLES GÉNÉRALES.**

*Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs, des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891 . . . . . 60 c.*

*Tous les trois ans, un supplément, destiné à exposer les progrès accomplis pendant cette période, viendra compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.*

Pour ne pas trop grossir un ouvrage déjà bien volumineux, il a fallu dans cette nouvelle édition en soumettre tous les détails à une revision sévère, supprimer ce qui avait quelque peu vieilli, sacrifier la description d'appareils ou d'expériences qui, tout en ayant fait époque, ont été rendus inutiles par des travaux plus parfaits; en un mot, poursuivre dans ses dernières conséquences la transformation entreprise non sans quelque timidité dans l'édition précédente. Au reste, pour tenir un livre au courant d'une Science dont le développement est d'une rapidité si surprenante, et dans laquelle un seul résultat nouveau peut modifier jusqu'aux idées même qui servent de base à l'enseignement, il ne suffit pas d'ajouter des faits à d'autres faits: c'est l'ordre, l'enchaînement, la texture même de l'ouvrage qu'il faut renouveler. On se ferait donc une idée inexacte de cette quatrième édition du *Cours de Physique de l'École Polytechnique* en se bornant à constater que ces quatre Volumes se sont accrus de près de 500 pages et de 150 figures, soit de un septième environ: les modifications touchent, pour ainsi dire, à chaque page et c'est en réalité au moins le tiers du texte qui a été écrit à nouveau d'une manière complète.

**DUHEM.** — Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Lille. *Leçons sur l'Electricité et le Magnétisme.* 3 volumes grand in-8, avec 215 figures :

Tome I, 1891; 16 fr. — Tome II, 1892; 14 fr. — Tome III, 1892; 15 fr.

**JAMIN et BOUTY.** — *Cours de Physique à l'usage de la classe de Mathématiques spéciales.* 2<sup>e</sup> édition. Deux beaux volumes in-8, contenant ensemble plus de 1060 pages, avec 438 figures géométriques ou ombrées et 6 planches sur acier; 1886 . . . . . 20 fr.

*On vend séparément :*

**TOME I.** — *Instruments de Mesure. Hydrostatique. — Optique géométrique. Notions sur les phénomènes capillaires.* In-8, avec 312 fig. et 4 pl. . . . . 10 fr.

**TOME II.** — *Thermométrie. Dilatations. — Calorimétrie.* In-8, avec 146 fig. et 2 pl. . . . . 10 fr.

# REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES PURES & APPLIQUÉES

Paraissant le 15 et le 30 de chaque mois, par cahiers de 32 pages  
grand in-8° colombier, imprimés à 2 colonnes  
avec de nombreuses figures dans le texte.

---

DIRECTEUR : Louis OLIVIER, DOCTEUR ÈS SCIENCES

---

Cette *Revue*, à laquelle collaborent 31 membres de l'Académie des Sciences de Paris et les savants les plus illustres de tous pays, a pour objet d'exposer, à mesure qu'ils se produisent et en quelque pays qu'ils s'accomplissent, les progrès des SCIENCES POSITIVES et de leurs APPLICATIONS PRATIQUES : *Astronomie, Mécanique, Physique, Chimie, Géologie, Botanique, Zoologie, Anatomie, Physiologie générale et Physiologie humaine, Anthropologie, — Géodésie, Navigation, Génie civil et Génie militaire, Industrie, Agriculture, Hygiène publique, privée et professionnelle, Médecine, Chirurgie.*

Chacun de ses numéros renferme trois parties :

1° La première se compose d'ARTICLES ORIGINAUX, de grandes analyses critiques et de revues spéciales ; le lecteur y trouvera la *synthèse précise des grandes questions à l'ordre du jour* ; celles qui se rapportent à la MÉDECINE sont dans chaque numéro l'objet d'un article spécial.

2° La deuxième partie est consacrée à l'ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE DÉTAILLÉE des livres et des mémoires importants, récemment parus sur les sciences *mathématiques, physiques, naturelles, médicales* ;

3° La troisième partie renferme le compte rendu des travaux présentés aux Académies et aux principales Sociétés savantes du monde entier.

Tous ceux qui, à des titres divers, s'intéressent au *progrès théorique et pratique des sciences*, trouveront dans cette *Revue* le *tableau complet du mouvement scientifique actuel*.

## SPÉCIMEN D'UN NUMÉRO

- I. — H. POINCARÉ, *de l'Institut* : Les Géométries non-Euclidiennes.
- II. — D<sup>rs</sup> MAGNAN et SÉRIEUX : Les Aliénés persécuteurs ; leurs caractères anthropologiques et psychiques ; leur diagnose.
- III. — J. BERGERON, *docteur ès sciences* : La Faune dite « primordiale » a-t-elle été la première ? Découvertes récentes de la paléontologie et de la pétrographie sur ce sujet (avec de nombreuses figures).
- IV. — J. BOUVEAULT, *docteur ès sciences* : La Synthèse des alcaloïdes naturels (avec exemples de préparation).
- V. — *Analyse bibliographique* : 1<sup>o</sup> Sciences mathématiques ; 2<sup>o</sup> Sciences physiques ; 3<sup>o</sup> Sciences naturelles ; 4<sup>o</sup> Sciences médicales.
- VI. — *Académies et Sociétés savantes de la France et de l'Etranger*

NOTA. — La *Revue* publie, avec chacun de ses numéros, un **Supplément** de huit colonnes renfermant : 1<sup>o</sup> Les nouvelles de la Science et de l'Enseignement ; 2<sup>o</sup> les sommaires de 300 périodiques scientifiques classés par ordre de science.

Un Numéro spécimen sera adressé gratuitement à toute personne qui en fera la demande.

PRIX DU NUMÉRO: **80 centimes**

Abonnements : chez Georges CARRÉ, Éditeur

58, rue Saint-André-des-Arts, Paris

Paris.....	Un an, 18 fr. ; 6 mois, 10 fr.
Départements et Alsace-Lorraine.....	— 20 — — 11 —
Union postale.....	— 22 — — 12 —

VINGTIÈME ANNÉE



37 VOLUMES PARUS

REVUE DES SCIENCES  
ET DE LEURS APPLICATIONS AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

*Journal hebdomadaire illustré*

RÉDACTEUR EN CHEF : **GASTON TISSANDIER**

Cette revue, si savamment dirigée par M. TISSANDIER, répond à un besoin actuel. Tous ceux qui se préoccupent un peu des progrès scientifiques, des découvertes utiles faites à chaque instant, trouveront dans ses précieuses pages toutes les trouvailles intéressantes, enregistrées au jour le jour. Sans peine, ils pourront profiter du travail accumulé dans cette véritable Encyclopédie. Ils n'y rencontreront pas seulement les résultats pratiques auxquels on est arrivé; ils y verront également les tentatives faites par les chercheurs dans telle ou telle voie, le but qu'ils poursuivent, les moyens qu'ils emploient. A ce titre, *La Nature* est doublement utile aux inventeurs. Elle peut les éclairer parfois, souvent leur indiquer des sujets de recherches. En tous cas, ce sera toujours avec profit qu'ils l'auront consultée. Bref, c'est un ouvrage véritablement utile pour beaucoup de gens, intéressant pour tous. Le texte en est toujours rédigé d'une façon brève et concise; les illustrations sont dues à nos meilleurs artistes et gravées avec le plus grand soin.

**PRIX DE L'ABONNEMENT ANNUEL :**

Paris, 20 fr. — Départements, 25 fr. — Union postale, 26 fr.

Les 37 premiers volumes sont en vente, et sont vendus chacun :

Broché, 40 fr. — Relié, 43 fr. 50.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

# TRAITEMENT DE LA TUBERCULOSE PULMONAIRE

DE LA PLEURÉSIE D'ORIGINE TUBERCULEUSE

ET DES BRONCHITES AIGUES ET CHRONIQUES

par le

## GAIACOL IODOFORME SÉRAFON

Et le Gaïacol-Eucalyptol iodoformé Sérafon

En solutions pour injections hypodermiques

et en capsules pour l'usage interne

PRÉPARATION ET VENTE EN GROS : Société Française de Produits Pharmaceutiques, 9 et 11, rue de la Perle, Paris.

### ALIMENTATION

DES

### MALADES

PAR LES

### POUDRES

DE

*Viande*

### ADRIAN

La **POUDRE** de **BIFTECK**

**ADRIAN** (garantie pure viande de bœuf français) est aussi inodore et insipide qu'il est possible de l'obtenir en lui conservant les principes nutritifs de la viande. C'est exactement de la chair musculaire privée de son eau, gardant sous un volume très réduit et sous un poids quatre fois moindre, toutes ses propriétés nutritives, et chose importante, n'ayant rien perdu des principes nécessaires à l'assimilation de l'aliment.

*Se vend en flacons de 250, 500 gr.  
et 1 kil.*

La **POUDRE DE VIANDE**

**ADRIAN**, d'un prix moins élevé que la poudre de bifeck, ce qui en permet l'emploi aux malades peu fortunés est garantie pure viande de bœuf d'Amérique.

*bottes de 250, 500 gr. et 1 kil.*

LA

## QUASSINE ADRIAN

essentiellement différente de toutes celles du commerce, est la SEULE dont les effets réguliers aient été constatés. Elle excite l'APPÉTIT, développe les FORCES, combat efficacement les DYSPEPSIES ATONIQUES, les COLIQUES HÉPATIQUES et NÉPHRÉTIQUES. (Bulletin général de thérapeutique, 15 novembre 1882).

Dragées contenant 25 milligrammes de Quassine amorphe.

Granules

— 2

— Quassine cristallisée

**DICTIONNAIRE  
DES ARTS & MANUFACTURES  
ET DE L'AGRICULTURE**

**FORMANT UN TRAITÉ COMPLET DE TECHNOLOGIE**

**Par Ch. LABOULAYE**

Avec la collaboration de Savants, d'Industriels et de Publicistes

**SEPTIÈME ÉDITION, PUBLIÉE EN 5 VOLUMES**

REVUE ET COMPLÉTÉE A LA SUITE DE L'EXPOSITION DE 1889

Imprimée sur deux colonnes avec plus de 5,000 figures dans le texte. Prix des 5 volumes : brochés. 120 fr. reliés. . . . . 145 fr.

Le *Dictionnaire des Arts et Manufactures* est devenu, par son grand et légitime succès, un ouvrage classique parmi les ingénieurs et tous ceux qui s'intéressent aux progrès de l'industrie.

C'est un ouvrage de recherches et d'études que l'on consulte, non seulement pour y trouver des renseignements sur sa propre industrie, mais souvent aussi sur les procédés des industries connexes, et sur les questions générales qui intéressent toute entreprise industrielle. L'Exposition de 1889 a fourni une abondante récolte d'indications précieuses, mises à profit par les collaborateurs de M. Ch. Laboulaye qui continuent son œuvre. Parmi les sujets remaniés ou traités à nouveau dans leur entier, nous citerons : l'électricité (installation d'éclairage, projets de machine, transport de la force, etc.), le verre, le sucre, les constructions métalliques, l'éclairage, la métallurgie, les canaux, le matériel des chemins de fer, les instruments d'agriculture, la statistique graphique, la statistique industrielle et agricole, les institutions de prévoyance (caisses de retraites, assurances, sociétés coopératives, réglementation du travail, syndicats professionnels, etc.). La nouvelle édition du *Dictionnaire des Arts et Manufactures* est tenue au courant des progrès, et nous avons lu avec grand intérêt, parmi les articles nouveaux, ceux qui se rapportent à la statistique et aux institutions de prévoyance. Cette nouvelle édition aura le succès de ses devancières.

(Extrait de *La Nature*.)

~~~~~

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

## TRAITÉ DE MÉDECINE

Publié sous la direction de MM. CHARCOT et BOUCHARD, membres de l'Institut et professeurs à la Faculté de médecine de Paris, et BRISSAUD, professeur agrégé, par MM. BABINSKI, BALLET, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, GILBERT, GUINON, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, OETTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, THIBERGE, L.-H. THOINOT, FERNAND VIDAL. 6 vol. in-8, avec figures (3 volumes, publiés au 1<sup>er</sup> mai. 1892). *En souscription* . . . . . 112 fr.

## TRAITÉ DE CHIRURGIE

Publié sous la direction de MM. Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Paris, et PAUL RECLUS, professeur agrégé, par MM. BERGER, BROCA, DELBET, DELENS, GÉRARD-MARCHANT, FORGUE, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT, PONCET, POTHERT, QUENU, RICARD, SEGOND, TUFFIER, WALTHER. 8 forts volumes in-8, avec nombreuses figures (7 volumes publiés au 1<sup>er</sup> mai 1892). *En souscription* . . . . . 140 fr.

## TRAITÉ DE GYNÉCOLOGIE CLINIQUE ET OPÉRATOIRE

Par S. Pozzi, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien de l'hôpital Lourcine-Pascal. 2<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, relié toile avec 500 figures dans le texte. 30 fr.

## LEÇONS SUR LA PATHOLOGIE COMPARÉE DE L'INFLAMMATION

Faites à l'Institut Pasteur en avril et mai 1891, par Elie METCHNIKOFF, chef de service à l'Institut Pasteur. 1 vol. in-8 avec 65 figures dans le texte, en noir et en couleur et 8 planches en couleur . . . . . 9 fr.

## LE DIABÈTE PANCRÉATIQUE

*Expérimentation, Clinique, Anatomie pathologique*, par le Dr J. THIROLOIX, interne, médaille d'or des hôpitaux, membre de la Société anatomique. 1 vol. in-8, avec planches et graphiques hors texte . . . . . 8 fr.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS.

T R A I T É  
**DE PHYSIQUE INDUSTRIELLE**  
PRODUCTION ET UTILISATION  
**DE LA CHALEUR**

Par **L. SER**

Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

**L. CARETTE et E. HERSCHER**

Ingénieurs des Arts et Manufactures, Membres de la Société des Ingénieurs civils,  
Membres de la Société de médecine et d'hygiène professionnelle.

---

2 forts volumes in-8° illustrés de 790 figures. 45 fr.

---

*I. — Principes généraux et appareils considérés d'une manière générale indépendamment de toute application particulière (foyers récepteurs de chaleur, cheminées, ventilateur, thermodynamique). 1 fort volume in-8° avec 362 figures. . . . . 22 fr. 50*

*II. — Chaudières à vapeur. — Distillation. — Évaporation et séchage. — Désinfection. — Chauffage et ventilation des lieux habités. 1 fort volume in-8° avec 428 figures. . . . . 22 fr. 50*

Le *Traité de Physique industrielle* est avant tout le résumé du cours professé à l'École Centrale par le savant et regretté professeur, depuis qu'il occupait la chaire de M. Pécelet.

C'est en même temps un ouvrage absolument pratique, s'adressant non seulement aux élèves, mais aux *Ingénieurs*, aux *Architectes*, aux Membres des Comités d'hygiène, etc.

Le second volume est publié avec la précieuse collaboration de deux hommes bien connus par leur compétence industrielle, et tient compte, par conséquent, de tous les travaux, de toutes les découvertes qui se sont produits depuis l'Exposition de 1889.

Il traite de deux questions très diverses: Les *Chaudières à vapeur* et le *Chauffage et la Ventilation*.

Nous l'avons, pour la facilité des lecteurs, publié en deux fascicules qu'on peut acheter séparément.

---

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS



# BIBLIOTHÈQUE DIAMANT

DES

SCIENCES MÉDICALES ET BIOLOGIQUES

Collection publiée dans le format in-18 raisin, cartonnée à l'anglaise

- Manuel de Pathologie interne**, par G. DIEULAFOY, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, lauréat de l'Institut (Prix Montyon). 6<sup>e</sup> édition. 2 vol. . . . . 15 fr.
- Manuel du diagnostic médical**, par P. SPILLMANN, professeur à la Faculté de médecine de Nancy et P. HAUSHALTER, chef de clinique médicale. 2<sup>e</sup> édition, entièrement refondue . . . . . 6 fr.
- Manuel d'anatomie microscopique et d'histologie**, par P.-E. LAUNOIS et H. MORAU, préparateurs-adjoints d'histologie à la Faculté de médecine de Paris, préface de M. Mathias DUVAL, professeur à la Faculté de médecine de Paris. . . . . 6 fr.
- Séméiologie et diagnostic des maladies nerveuses**, par Paul Blocq, chef des travaux anatomo-pathologiques à la Salpêtrière, lauréat de l'Institut, et J. ONANOFF. . . . . 5 fr.
- Manuel de thérapeutique**, par le D<sup>r</sup> BERLIOZ, professeur à la Faculté de médecine de Grenoble, précédé d'une préface de M. BOUCHARD, professeur à la Faculté de médecine de Paris. . . . . 6 fr.
- Précis de microbiologie médicale et vétérinaire**, par le D<sup>r</sup> L.-H. THOINOT, ancien interne des hôpitaux et E.-J. MASSELIN, médecin-vétérinaire, 2<sup>e</sup> éd., 75 fig. noires et en couleurs. . . . . 6 fr.
- Précis de médecine judiciaire**, par A. LACASSAGNE, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. 2<sup>e</sup> édition . . . . . 7 fr. 50
- Précis d'hygiène privée et sociale**, par A. LACASSAGNE, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. 3<sup>e</sup> édition revue et augmentée. . . . . 7 fr.
- Précis d'anatomie pathologique**, par L. BARD, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon. . . . . 7 fr. 50
- Précis théorique et pratique de l'examen de l'œil et de la vision**, par le D<sup>r</sup> CHAUVEL, médecin principal de l'armée, professeur à l'École du Val-de-Grâce. . . . . 6 fr.
- Le Médecin. Devoirs privés et publics; leurs rapports avec la Jurisprudence et l'organisation médicales**, par A. DECHAMBRE, membre de l'Académie de médecine . . . . . 6 fr.
- Guide pratique d'Électrothérapie**, rédigé d'après les travaux et les leçons du D<sup>r</sup> ONIMUS, lauréat de l'Institut, par M. BONNEFOY. 3<sup>e</sup> édition, revue et augmentée d'un chapitre sur l'électricité statique, par le D<sup>r</sup> DANION . . . . . 6 fr.
- Paris : sa topographie, son hygiène, ses maladies**, par Léon COLIN, directeur du service de santé du gouvernement militaire de Paris . . . . . 6 fr.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

## ANÉMIE

Dans les cas de CHLOROSE et d'ANÉMIE rebelles aux moyens thérapeutiques ordinaires les préparations à base

## CHLOROSE

## D'HÉMOGLOBINE SOLUBLE

DE V. DESCHIENS

Épaulement

ont donné les résultats les plus satisfaisants. Elles ne constipent pas, ne noircissent pas les dents et n'occasionnent jamais de maux d'estomac comme la plupart des autres ferrugineux.

Affaiblissement

Se vend sous la forme de

**SIROP, VIN, DRAGÉES  
ET ÉLIXIR**

général

préparés par ADRIAN et Cie, 9 rue de la Perle, Paris.

---

## CAPSULES DE TERPINOL ADRIAN

Le TERPINOL a les propriétés de l'essence de Térébenthine dont il dérive, mais il est plus facilement absorbé et surtout *très bien toléré*, ce qui le rend préférable.

Il n'offre pas, comme l'essence de Térébenthine, l'inconvénient grave de provoquer chez les malades des nausées, souvent même des vomissements.

Le TERPINOL est un diurétique et un puissant modificateur des sécrétions catarrhales (bronches, reins, vessie).

Le TERPINOL ADRIAN s'emploie en capsules de 10 centigrammes (5 à 10 par jour).

---

## TRAITEMENT de la SYPHILIS par les PILULES DARDENNE

POLY-IODURÉES SOLUBLES

SOLUBLES dans tous les liquides servant de boisson (Eau, lait, café, vin, bière, etc.) elles peuvent être prises en pilules ou transformées par les malades, en solutions ou en sirops, au moment d'en faire usage.

**Premier type (type faible)**

(Syphilis ordinaire 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> année)

2 pilules par jour correspondent à une cuillerée à soupe de *Sirop de Gibert*.

**Quatrième type (type fort)**

(accidents tertiaires, viscéraux et cutanés)

8 pilules par jour correspondent à un centig. 5i-iodure de mercure et à 4 grammes iodure de potassium.

Vente en Gros : Société Française de Produits Pharmaceutiques,  
9 et 11 rue de la Perle, PARIS.





GAUTHIER-VILLARS ET FILS ET G. MASSON, ÉDITEURS

## ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 300 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés par an)  
CHAQUE VOLUME SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

### Ouvrages en cours de publication

#### Section de l'Ingénieur

- R.-V. PICOU.— Distribution de l'électricité par installations isolées.  
A. GOUILLY.— Transmission de la force par air comprimé ou raréfié.  
MAGNIER DE LA SOURCE.— Analyse des vins.  
DWELSHAUVERS-DERY.— Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur.  
DUQUESNAY.— Résistance des matériaux.  
AIMÉ WITZ.— Thermodynamique à l'usage des Ingénieurs.  
A. MADAMET.— Tiroirs et distributeurs de vapeur.  
R.-V. PICOU.— Distribution de l'électricité par usines centrales.  
H. GAUTIER.— Essais d'or et d'argent.  
LINDET.— Fabrication de la bière.  
ALHEILIG.— Recette, conservation et travail du bois, Outils et machines.  
TH. SCHLÖESING fils.— Chimie agricole.  
LE CHATELIER.— Le Grisou.  
H. LAURENT.— Théorie des jeux de hasard.  
LECOMTE.— Les textiles végétaux. Leur examen microchimique.  
H. LÉAUTÉ et A. BÉRARD.— Transmissions par câbles métalliques.  
HÉBERT.— Examen sommaire des boissons falsifiés.  
GUENEZ.— La décoration de la porcelaine au feu de moufle.  
FERDINAND JEAN.— L'industrie des peaux et des cuirs.  
NAUDIN.— Fabrication des vernis.  
EMILE BOIRE.— La sucrerie.  
LE VERRIER.— La fonderie.  
SEYRIG.— Statique graphique.  
CANDELOT.— Chaux, ciments et mortiers.  
DUDEBOUT.— Appareils accessoires des moteurs à vapeur.  
CRONEAU.— Canons, torpilles et cuirasses.  
DURIN.— La saccharification des fécules.

#### Section du Biologiste

- WURTZ.— Technique bactériologique.  
FAISANS.— Maladies des organes respiratoires.  
AUVARD.— Gynécologie.— Séméiologie génitale.  
G. WEISS.— Electricité expérimentale en médecine.  
BAZY.— Maladies des voies urinaires.  
MAGNAN et SÉRIEUX.— Le délire chronique à évolution systématique.  
POLIN et LABIT.— Examen des aliments suspects.  
MÉGNIN.— Les acarions parasites, leur contagion à l'homme.  
DE LAPERSONNE.— Maladies des paupières et des membranes de l'œil.  
DE BRUN.— Maladies des pays chauds.  
CUÉNOT.— Les moyens de défense dans la série animale.  
LANNELONGUE.— La Tuberculose chirurgicale.  
STRAUS.— Les Bactéries.  
LETULLE.— Maladies de la cellule.  
DASTRE.— La Digestion.  
LAVERAN.— Paludisme.  
FÉRÉ.— Epilepsie.  
AIMÉ GIRARD.— La betterave à sucre.  
NAPIAS.— Hygiène industrielle et professionnelle.  
GOMBAULT.— Pathologie du bulbe rachidien.  
LEGROUX.— Pathologie générale infantile.— Troubles de nutrition.  
BROCQ et JACQUET.— Traité élémentaire et pratique de dermatologie.  
GÉRARD-MARCHANT.— Chirurgie du système nerveux.— Cerveau.  
BERTHAULT.— Les prairies naturelles et temporaires.  
CHARRIN.— Poisons de l'organisme.  
BRAULT.— Myocarde et artères.  
CORNEVIN.— Production du lait.  
GAMALEIA.— Vaccinations préventives.  
ARLOING.— Maladies charbonneuses.  
OLLIER.— Les résections.