

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Auteur(s)	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1893
Collation	16 vol. ; in-8
Nombre de volumes	21
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 353
Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris)
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE353
LISTE DES VOLUMES	
	1. Première partie. L'architecture
	2. Deuxième partie. La construction
	3. Troisième partie. Les travaux publics
	4. Quatrième partie. Mines et métallurgie
	5. Quatrième partie. La minéralogie, la minéralurgie et la géologie
	6. Cinquième partie. Les chemins de fer
	7. Sixième partie. [Tome I] Chaudières à vapeur et machines thermiques
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	8. Sixième partie. Tome II. Chaudières à vapeur et machines thermiques
	9. Septième partie. Mécanique générale. Machins outils. Hydraulique générale. Travail du bois. Travail des métaux. Machineries industrielles
	10. Septième partie. Tome II. Les machines outils
	11. Huitième partie. Électricité et applications
	12. neuvième partie. Marine et arts militaires
	13. Dixième partie. Arts industriels
	14. Onzième partie. Industries chimiques
	15. Onzième partie. Tome II. Industries chimiques
	16. Première partie. Comptes-rendus des séances générales. Procès verbaux des séances de section. Listes des membres, etc
	Atlas des 1re, 2e et 3e parties comprenant : Architecture. La construction. Travaux publics
	Atlas des 4e et 5e parties comprenant : Mines et métallurgie. Chemins de fer (Signaux). Chemins de fer (Voie et matériel roulant)
	Atlas de la 6e partie comprenant : Chaudières à vapeur. Machines à vapeur
	Atlas des 7e et 8e parties comprenant : Hydraulique. Machines-outils. Electricité
	Atlas des 9e, 10e, 11e parties comprenant Marine et Arts militaire, Arts industriels, Industries chimiques

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Volume	8. Sixième partie. Tome II. Chaudières à vapeur et machines thermiques
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1893
Collation	1 vol. (476 p.) : ill. en noir et blanc ; 27 cm
Nombre de vues	482
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 353 (8)

Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris) Chaudières à vapeur Machines thermiques
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	15/12/2020
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/106718835
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE353.8

7 331

80 Jan 353 6

REVUE TECHNIQUE DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

PAR UN COMITÉ D'INGÉNIEURS, DE PROFESSEURS
D'ARCHITECTES ET DE CONSTRUCTEURS

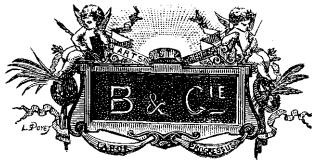
~~~~~  
**CH. VIGREUX, FILS**

Ingénieur des Arts et Manufactures

Inspecteur du Service mécanique et électrique à l'Exposition Universelle de 1889

Secrétaire de la Rédaction  
~~~~~

ORGANE OFFICIEL
DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE
Tenu à Paris du 16 au 21 Septembre 1889



PARIS

E. BERNARD et C^{ie}, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

53^{ter}, Quai des Grands-Augustins, 53^{ter}

1893

SIXIÈME PARTIE

TOME II

CHAUDIÈRES A VAPEUR & MACHINES THERMIQUES

PREMIÈRE QUESTION

*Unification du cheval-vapeur. — Spécification de la puissance
des générateurs de vapeur. — Rendement.*

RAPPORT DE M. ALFRED TRESCA

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE ET A L'INSTITUT AGRONOMIQUE

Déjà, lors du congrès du génie civil, en 1878, la question de l'unification du cheval-vapeur et de la spécification de la puissance des générateurs de vapeur a été discutée sans qu'aucune résolution ait été prise; il était donc nécessaire d'appeler à nouveau l'attention des ingénieurs sur cette question, dans un congrès, ayant lieu onze ans après celui que nous venons de citer.

La question a fait certainement un pas depuis cette époque : l'emploi des appareils d'observation s'est généralisé, des types très divers de générateurs de vapeur se sont répandus, et un des grands progrès que l'on peut constater, et qui permet de résoudre plus facilement la question actuelle, consiste, suivant nous, dans une séparation bien plus complète de la question en deux parties bien distinctes : production de la vapeur d'une part, utilisation de cette vapeur de l'autre.

Dans les marchés importants, relatifs à la construction et à l'établissement des moteurs à vapeur, on stipule, maintenant de plus en plus rarement, que le moteur devra consommer, par exemple, 1 kilogramme ou 1 kilogramme 1/2 de combustible par cheval et par heure.

On indique, tout d'abord, que la machine à vapeur doit consommer un certain nombre de kilogrammes de vapeur, par cheval indiqué ou par cheval mesuré sur l'arbre; puis, ce premier point élucidé, on passe aux conditions de fonctionnement de la chaudière, en stipulant que telle chaudière doit avoir telle surface de chauffe, doit permettre la vaporisation de tant de kilogrammes d'eau par kilogramme de combustible, etc.

Il n'y a d'exception à cette règle que dans le cas où les machines sont portatives, locomobiles ou demi-fixes, dans lesquelles chaudières et machines sont solidaires l'une de l'autre.

En divisant ainsi la question en deux, l'examen du moteur à vapeur est sim-

plifié, et nous allons passer en revue, tout d'abord, les moyens de spécifier les conditions de fonctionnement du moteur, considéré en lui-même, sans s'occuper pour l'instant des moyens de production de la vapeur nécessaire à son fonctionnement, pour envisager un peu plus tard la question de la production de la vapeur, ou, ce qui revient au même, les conditions d'établissement de la chaudière.

Pour résumer ici les opinions émises lors du congrès de 1878, nous dirons, qu'à l'exception d'un orateur qui avait proposé que l'on revienne à une unité plus conforme à notre système métrique, en adoptant le cheval-vapeur de 100 kilogrammètres par seconde, l'assemblée a paru se rallier à l'idée de conserver l'unité adoptée depuis Watt, le cheval-vapeur de 75 kilogrammètres par seconde.

Les partisans de cette opinion ont indiqué qu'en effet cette unité est adoptée, à peu de chose près, par l'Angleterre, l'empire d'Allemagne et l'Autriche, pour ne parler que des grands États de l'Europe, et que toute proposition, qui tendrait à modifier profondément cette base, courrait le risque d'être repoussée immédiatement.

Ce point paraissant admis, il y a lieu de se demander de quelle façon la puissance exprimée en chevaux-vapeur de 75 kilogrammètres par seconde, serait mesurée, si, par exemple, la puissance du moteur serait mesurée sur l'arbre, ou bien si l'on adopterait une autre méthode, en se rapprochant d'un usage répandu déjà depuis longtemps en Angleterre, en Amérique, et un peu plus tard en France.

L'indicateur de pression est devenu de nos jours un instrument tout-à-fait usuel, et les constructeurs anglais ont pris l'habitude, depuis nombre d'années, de ne livrer leurs moteurs que disposés pour adapter facilement un indicateur de pression sur les différents cylindres composant la machine à vapeur.

Les constructeurs français ont été un peu plus longs à adopter cet usage; mais on peut dire que, maintenant, toute machine à vapeur de quelque importance n'est livrée que munie des raccords et transmissions nécessaires pour faire fonctionner l'indicateur de pression, et se rendre compte du mode d'emploi de la vapeur dans les différentes chambres.

Rien de plus simple, dès lors, de vérifier, pendant les essais qui précèdent ou qui suivent immédiatement la livraison, si les conditions du marché sont satisfaites, au point de vue de la consommation de vapeur par cheval indiqué, en admettant qu'une stipulation de ce genre ait été introduite dans le contrat.

La tendance générale, actuelle est d'agir ainsi, en évaluant non plus la puissance d'une machine en chevaux-vapeur mesurés sur l'arbre, ce qui présente dans un certain nombre de cas spéciaux, de grandes difficultés, mais bien en chevaux indiqués, mesurés à l'aide d'instruments bien connus, les indicateurs de pression.

Ces instruments, tels qu'on les construit maintenant, c'est-à-dire en réduisant au minimum le poids des pièces en mouvement, ou bien en faisant décrire à ces

différentes pièces des déplacements de peu d'amplitude que l'on augmente ensuite, peuvent être employés en toute confiance pour la détermination du travail de la vapeur dans les différentes chambres des cylindres du moteur.

Nous ne repoussons pas pour cela, d'une manière absolue, la détermination du travail mesuré sur l'arbre de la machine, en un ou en plusieurs essais au frein, de courte durée, qui seront toujours nécessaires, lorsqu'on voudra se rendre compte du rendement de la machine à vapeur, en travail mécanique, pour juger de la perfection de sa construction.

Rendement. — Ce rendement est toujours donné par le rapport qui existe entre le travail mesuré au frein et le travail indiqué, déduit du relevé d'un certain nombre de tracés obtenus à l'aide de l'indicateur de pression.

Si cette manière de voir tend à se généraliser, en ce qui concerne les machines de terre, deux autres catégories de machines sont encore en dehors, du moins en partie, de la loi commune : nous voulons parler des machines marines et des locomotives.

Machines marines. — Il y a environ trente ans, les dénominations, en ce qui concerne les machines marines, étaient encore des plus diverses.

On employait, en effet :

1° Le cheval de basse pression, en employant la formule de Watt

$$F = \frac{D^2 CN}{0,59}$$

et en la modifiant par l'introduction d'un terme $\frac{p}{63}$, p étant la pression moyenne exprimée en centimètres de mercure, et provenant de la recherche de l'ordonnée moyenne d'un tracé à l'indicateur ;

2° Le cheval de 30 litres, en rappelant ainsi la consommation de vapeur des machines de Watt ;

3° Le cheval nominal, en employant la règle de l'amirauté anglaise caractérisée par la formule

$$F = D^2 V \frac{1}{6000}$$

D étant exprimé en pouces et V étant exprimée en pieds par minute.

4° Le cheval tel qu'il se déduit de la formule de Moll

$$Tu = 7,117 D^2 CN (p - x)$$

p et x étant exprimés en centimètres de mercure.

5° Le cheval indiqué.

Si l'on ajoute à cette nomenclature la proposition faite par Rech de prendre pour unité de puissance le cheval de 100 kilogrammètres par seconde, mesure

sur le piston, revenant, suivant lui, au cheval de 75 kilogrammètres, mesuré sur l'arbre, en adoptant pour la machine le rendement de 0,75 ;

Si l'on fait remarquer encore que le cheval a été pris aussi, à la même époque, égal à trois ou quatre fois la valeur adoptée pour les machines fixes, les valeurs choisies variant entre 200 et 300 kilogrammètres par seconde, on voit que la confusion était aussi grande que possible, et qu'il était bien difficile de s'y reconnaître entre ces différentes notations.

A la fin de 1867, Dupuy de Lôme a proposé d'adopter une règle unique, et un arrêté ministériel, pris à cette époque, et encore en vigueur maintenant, a donné une consécration officielle à l'opinion émise par Dupuy de Lôme, en ce qui concerne l'appréciation de la puissance des machines marines de l'État français.

Il était prescrit de ne plus employer que l'expression du cheval indiqué, et l'on arrêta, en même temps, comme règle absolument empirique, que la force nominale de la machine serait désignée par le quart du nombre représentant la puissance de la machine exprimée en chevaux indiqués.

Cette règle revient évidemment à considérer le cheval-vapeur comme exprimé en unités beaucoup plus grandes ($4 \times 75 = 300$ kilogrammètres par seconde), lorsque l'on veut exprimer la force nominale des machines de la marine.

La règle empirique que nous venons de rappeler n'avait évidemment pour but que de rapprocher la force nominale des machines de construction française d'évaluations en usage dans certains pays, Amérique ou Angleterre, en ce qui concerne les machines de même puissance.

Cette confusion, certainement moins grande depuis quelques années, cesserait évidemment si l'on abandonnait complètement cette expression de *force nominale*, et si l'on se bornait à exprimer le travail des machines marines en travail mesuré à l'indicateur de pression, ou travail indiqué.

Les difficultés presque insurmontables que l'on rencontrerait si l'on voulait évaluer le travail des machines de grandes puissances mesuré sur l'arbre, la nécessité dans laquelle on se trouverait d'employer des dynamomètres puissants pour déterminer le travail transmis à un arbre d'hélice, par exemple, rendent encore cette dénomination en travail indiqué plus utile et, par conséquent, plus acceptable.

Locomotives. — En ce qui concerne les locomotives, les différentes compagnies de chemins de fer se sont contentées de grouper leurs machines en séries contenant les appareils de même type, et ont fait préparer des tableaux donnant immédiatement le nombre de tonnes que ces locomotives peuvent remorquer dans différentes conditions.

La compagnie des chemins de fer du Nord français est la seule qui ait adopté, pour ses locomotives à marchandises seulement, une unité qui permet de compa-

rer entre elles les différentes machines de son réseau. Encore cette unité suppose-t-elle une rampe de 5 millimètres par mètre, et admet-elle que les wagons à marchandises sont chargés du poids moyen de 5 tonnes.

M. Abt, ingénieur à Lucerne, s'est occupé de cette question qui présente de grandes difficultés, tant au point de vue des conditions d'adhérence, qu'en ce qui concerne le travail dépensé par la machine pour se remorquer elle-même.

Le système proposé par M. Abt a été discuté, en 1883, dans une réunion des ingénieurs mécaniciens de Berlin, et se trouve résumé dans deux publications : l'une du journal *Die Eisenbahn*, n^{os} 26 et 27, année 1880, et l'autre du journal *Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen*, novembre 1883, n^{os} 153 et suivants.

Après avoir résumé, dans les pages qui précèdent, l'état actuel de la question, nous appelons l'attention du congrès sur les points suivants :

1° Le cheval-vapeur, tel qu'il est compris maintenant, c'est-à-dire représentant le travail de 75 kilogrammètres par seconde, constitue-t-il la meilleure unité que l'on puisse adopter, avec quelques chances d'en répandre l'usage dans les différentes parties du monde ?

2° La puissance des machines à vapeur paraît-elle mieux définie en l'exprimant en chevaux indiqués, leur détermination devant nécessiter l'emploi d'instruments spéciaux, mais d'un usage courant ?

3° Le travail mesuré au frein, sur l'arbre de la machine, doit-il être mentionné comme renseignement complémentaire ou doit-il remplacer, dans les transactions, l'évaluation en travail indiqué ?

4° Y aurait-il-il intérêt à adopter la même unité, le cheval-vapeur, en ce qui concerne les machines de locomotion, machines marines et locomotives ?

Nous ne pensons pas que, pour ces dernières, le moment soit venu d'aborder cette question complexe, pour les raisons que nous avons indiquées. Le problème doit être restreint, suivant nous, aux machines de terre et aux machines marines, en exceptant, pour l'instant, les machines locomotives pour lesquelles une classification présentant quelque analogie avec celle que nous proposons, présentera de longtemps encore de grosses difficultés d'application.

Tels sont les points principaux qui sont soumis à vos délibérations, et au sujet desquels nous désirons avoir l'avis du plus grand nombre de nos collègues.

Chaudières. — La division bien établie maintenant entre les machines et les chaudières ne permet plus d'exprimer les dimensions des générateurs en chevaux-vapeur, expression d'ailleurs toujours incorrecte, puisque la chaudière, par elle-même, ne peut servir à la production du travail mécanique et que ce n'est que par l'adjonction d'un moteur que l'on peut, à ce point de vue, utiliser la vapeur produite.

Il est donc nécessaire de spécifier la puissance des générateurs à vapeur, en adoptant d'autres unités.

La spécification de la puissance des chaudières, au moyen d'une seule expression, présente beaucoup plus de difficultés qu'en ce qui concerne la désignation de la puissance des moteurs à vapeur.

La surface de chauffe d'une chaudière serait certainement le meilleur moyen de les désigner, s'il n'était pas nécessaire de faire une distinction entre la surface de chauffe directe et la surface de chauffe indirecte, et si la surface de chauffe était utilisée de la même manière dans les types très divers de chaudières adoptés maintenant.

La surface de grille pourrait, dans certains cas, donner un renseignement complémentaire et le mieux serait certainement d'adopter ces indications doubles, au point de vue de la spécification des générateurs de vapeur.

La production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, ou par kilogramme de combustible brûlé sur la grille, pourrait utilement servir à spécifier la puissance des chaudières, s'il n'y avait pas lieu de craindre de graves contestations, au sujet de la quantité d'eau entraînée par la vapeur et mélangée avec elle, et qui viendrait influencer, dans une certaine mesure, sur la détermination de la quantité d'eau vaporisée.

Le timbre de la chaudière serait encore une indication utile ; mais les constructeurs sont évidemment obligés de suivre, à ce point de vue, les règlements en vigueur dans les différents pays.

Nous pouvons ajouter, en terminant, qu'en ce qui concerne la construction française, la substitution de la pression exprimée en kilogrammes par centimètre carré à la pression exprimée en atmosphères a réalisé un progrès important.

Nous nous permettons donc d'appeler l'attention des ingénieurs sur les meilleurs moyens qu'il y aurait lieu d'adopter pour spécifier la puissance d'un générateur de vapeur, et nous espérons qu'un grand nombre des membres adhérents au Congrès de mécanique appliquée, voudront bien nous apporter leur avis sur ces points soumis à leur appréciation.

Il y a lieu, en effet, de rendre ces indications aussi comparables que possible, dans les différents pays où l'industrie mécanique s'est développée et se développe encore tous les jours. Les relations internationales y gagneraient certainement, et nous émettons le vœu, en terminant, que ces questions reçoivent à l'avenir des solutions satisfaisant complètement les intérêts des constructeurs mécaniciens.

CINQUIÈME QUESTION

Machines à vapeur à détente en cylindres successifs.

RAPPORT DE M. A. MALLET.

Exposé

Les machines où la vapeur travaille successivement dans plusieurs cylindres, machines dont l'emploi est devenu si général, se divisent en deux grandes catégories : les machines à *transvasement immédiat* et les machines à *réservoir*. Cette distinction, basée sur le mode de distribution de la vapeur, est plus rigoureuse que celle qu'on emploie souvent de machines à *points morts concordants* et machines à *points morts discordants*, établie d'après le mouvement relatif des pistons, indication qui n'est qu'apparente et peut induire en erreur.

La machine à transvasement immédiat est généralement connue sous le nom de *machine de Woolf*, c'est la plus ancienne.

La machine à réservoir est plus récente, bien qu'elle ait déjà une ancienneté respectable, contrairement à l'opinion générale ; on la désigne communément sous le nom de *machine compound*, expression qui devrait logiquement s'appliquer à toute machine à détente en cylindres successifs.

Etant donnée l'importance de la question, il n'est pas inutile de présenter un historique rapide de la naissance et du développement des deux groupes de machines dont nous nous occupons.

I. — *Aperçu historique*

Machine Woolf. — La première idée de la machine à deux cylindres est incontestablement due à Jonathan Hornblower, qui patenta ce système à la date du 5 novembre 1781 sous le numéro 1298.

Quelques auteurs ont revendiqué pour Watt l'invention de la machine à deux cylindres en se basant sur un point de la patente du 3 juillet 1782, n° 1321, de l'illustre mécanicien. Ce point qui porte le n° 3 a pour objet une machine *compound* ou double ; la description en est extrêmement confuse et le dessin qui

l'accompagne est peu intelligible. Ceci n'a rien d'étonnant, car on sait que les contemporains de Watt, notamment Bramah, lui ont souvent reproché l'obscurité, probablement voulue, de ses spécifications qui, à leur avis, constituaient bien moins la description des idées de l'inventeur que des barrières savamment disposées par lui pour enclorre à son profit exclusif le domaine de la machine à vapeur.

Il est difficile de dégager la manière dont la détente devait se produire dans la machine compound de Watt, mais tout semble indiquer que cette machine n'était point la machine à deux cylindres telle que nous la comprenons.

Quoi qu'il en soit, le fait qu'Hornblower a appliqué son système, ce que Watt n'a jamais fait pour celui que nous venons d'indiquer, et l'antériorité de date indiscutable qui existe en faveur du premier ne permettent pas d'hésiter à attribuer à Jonathan Hornblower l'invention de la machine à deux cylindres. Mais en revanche, chose curieuse, on peut attribuer à Watt le premier emploi du mot de *machine compound*, bien qu'il l'ait proposé dans un sens différent de celui pour lequel on applique généralement aujourd'hui cette expression.

Comme on sait, Hornblower ne retira aucun profit de sa découverte. Il ne pouvait appliquer sa machine sans le condenseur et la pompe à air patentés par Watt ; il fut donc en butte à des imputations de plagiat et à de véritables persécutions qui allèrent jusqu'à l'emprisonnement. Les amis de Watt le poursuivirent de la manière la plus odieuse et parvinrent à noircir sa réputation. Une réaction s'est faite depuis longtemps et la postérité, plus juste que ses contemporains, réserve à Jonathan Hornblower une place dans l'histoire de la machine à vapeur à côté de celle du grand James Watt.

La machine d'Hornblower, qui reçut quelques applications dans les Cornouailles, ne pouvait donner des résultats économiques bien importants avec les pressions à peine supérieures à la pression atmosphérique en usage alors. Lorsque Trewithick, à la grande horreur de Watt, eut commencé à familiariser les esprits avec l'emploi de pressions plus élevées, Arthur Woolf eut l'idée heureuse d'appliquer ces pressions à la machine d'Hornblower, en la mettant à double effet.

Woolf réalisa dès 1806 ses dispositions sur une machine établie dans la brasserie de Meux à Londres, dont il était ingénieur, puis sur une machine dans la distillerie de Reid. En 1813, il introduisit la machine à deux cylindres dans les Cornouailles.

Les bons résultats obtenus avec ces machines, et que quelques auteurs attribuent en grande partie à leur exécution très soignée amena une extension assez rapide de l'emploi de ce système, extension qui fut néanmoins suivie d'une réaction sensible lorsque les ingénieurs des Cornouailles se furent attachés à appliquer aux machines à un seul cylindre les perfectionnements qui ont rendu célèbre le type auquel on a donné ce nom.

Il n'est pas sans intérêt d'indiquer que, dès 1805, c'est-à-dire peu de

temps après la patente de Woolf (1804), Willis Earle proposait une machine à deux cylindres, un grand et un petit, superposés avec tige commune pour les deux pistons, disposition qui, reproduite plus tard par Sims, est le point de départ du type assez employé actuellement et connu sous le nom de machine *tandem*.

La machine de Woolf se répandit rapidement ; dès 1815, à la paix, Edwards père, qui vint à Paris et fut bientôt l'associé de la célèbre maison Perrier de Chaillot, introduisit ce modèle de machine en France où il devint pour ainsi dire classique.

On peut faire remarquer à ce sujet que les machines à deux cylindres ont toujours été beaucoup plus employées comme machines fixes en France qu'en Angleterre.

La machine de Woolf paraît avoir été appliquée à la navigation, dès 1825, par Allaire de New-York, puis également aux Etats-Unis, mais plus tard, par Erastus Smith ; les machines du premier, établies d'abord sur les bateaux *Sun*, *Henry Eckford*, *Commerce* et *Swiftsure*, avaient un cylindre à chaque extrémité du balancier, les autres avaient les cylindres concentriques, l'un dans l'autre, disposition reproduite depuis, bien que rarement, et dont l'idée première paraît due à un nommé William Gilman.

En Europe où on hésitait, au contraire des Etats-Unis, à se servir pour les bateaux de machines à manivelle unique, et où la machine Woolf aurait entraîné une complication inévitable, son emploi paraît avoir été très exceptionnel jusqu'en 1854 où les constructeurs anglais Randolph et Elder l'appliquèrent au navire à hélice le *Brandon*, avec des cylindres accolés dont les pistons actionnaient des manivelles calées à 180 degrés l'une de l'autre. Le succès du *Brandon* détermina l'application du même système en 1856 aux machines du *Valparaiso* et de l'*Inca* appartenant à la compagnie de navigation du Pacifique, entreprise pour laquelle la réduction de la dépense de charbon avait un intérêt énorme.

La transformation s'étendit ensuite à la flotte entière de la compagnie et fut le point de départ de l'application générale des machines à deux cylindres dans la marine. Il est à remarquer que ces premières applications eurent lieu avec des pressions de vapeur non supérieures aux pressions ordinaires de l'époque ; ce n'est que lorsqu'on se fût familiarisé avec l'emploi de pressions plus élevées, que la construction des chaudières eût été perfectionnée et qu'enfin l'usage du condenseur à surface fût devenu pratique, que les constructeurs abordèrent l'emploi des hautes pressions qui amena les résultats extraordinaires obtenus depuis quelques années. Le condenseur à surface a joué parallèlement à la machine à deux cylindres un rôle aussi important, et ces deux grands progrès se sont complétés mutuellement.

Peu après Randolph et Elder, d'autres constructeurs anglais, Humphrys et

Tennant, Rowan et Horton, ont construit des machines de Woolf sous des formes différentes et avec beaucoup moins de succès, pour des questions de détail notamment. A partir de ce moment l'histoire de la machine Woolf se confond avec celle de la machine compound que nous allons examiner rapidement.

Machine compound. — La première indication relative à la machine à réservoir est dans une patente de 1826 au nom de Joseph Eve pour une machine *compound*, le mot s'y trouve, dans laquelle la vapeur agissait d'abord dans une machine rotative à haute pression, et ensuite dans une machine à basse pression également rotative où elle se détendait. On ne trouve rien sur ce sujet jusqu'en 1834 où nous avons à enregistrer un fait capital dans l'histoire de la machine compound.

Le 22 février 1834, fut déposée à Mulhouse par la maison André Koechlin et C^{ie} une demande de brevet d'importation de dix ans pour une *machine expansive à cylindres indépendants et combinés*. Le 24 octobre de la même année, une demande de patente fut faite en Angleterre par un nommé Ernst Wolff, à titre de communication d'un étranger, pour la même invention.

Dans ces brevets, l'inventeur, après avoir insisté sur les inconvénients de la machine de Woolf et sa complication pour les usages qui exigent deux machines avec manivelles à 90 degrés, revendique la combinaison des machines complètes recevant successivement chacune la vapeur de la précédente et agissant sur le même arbre ou sur des arbres différents reliés ou non ensemble. Il indique la présence d'un réservoir intermédiaire, placé au besoin à la base de la cheminée pour recueillir la chaleur perdue des gaz, la mise en train au départ par l'envoi de vapeur vive au réservoir intermédiaire, la transformation des machines existantes par le remplacement d'un des cylindres, etc. Le dessin annexé représente le système compound, tel que nous le connaissons aujourd'hui, appliqué à une machine de bateau à balanciers (1).

Les brevets dont il vient d'être question comprennent absolument tout ce qui concerne la machine compound actuelle et sont évidemment rédigés par la main d'un homme du métier. Il n'y manque que le nom de l'auteur qui n'est mentionné dans aucune des pièces y relatives. Des recherches faites dans les archives de la Société alsacienne de construction mécanique qui a succédé à la maison André Koechlin n'ont produit aucun résultat.

Lors de nos investigations, nous reçûmes de M. Tideman, ingénieur en chef de la marine néerlandaise à Amsterdam, communication de précieux renseignements sur un certain nombre de machines à haute et basse pression construites antérieurement à 1844 dans les ateliers de Feyenoord, près Rotterdam.

Le premier des navires faisant l'objet des renseignements de M. Tideman était

1. Voir *Mémoires et Comptes rendus* de travaux de la société des ingénieurs civils, 4^{me} trimestre de 1873. p. 823.

le *James Watt*, bateau à roues, dont la machine à haute pression à deux cylindres de 0^m,507 de diamètre fut modifiée par le remplacement d'un des cylindres par un de 1^m,370 et par l'addition d'un condenseur ; le bateau reçut alors le nom de *Stad Keulen (Ville-de-Cologne)*. Cette modification date de 1829.

La même année la machine à deux cylindres de 0^m,532 de diamètre du vapeur *Aggripina* reçut un troisième cylindre de 1^m,370 de diamètre prenant la vapeur à un réservoir où évacuaient les deux autres cylindres ; cette machine fut mise dans un autre bateau qui reçut le nom d'*Hercule*. La liste comprend encore seize autres navires dont plusieurs pour les compagnies de navigation du Danube et de l'Elbe (1).

Le rapprochement de ces faits et de leur date avec les patentes prises sous les noms de Wolff et André Kœchlin pour le compte d'un tiers, et des indications que nous avons trouvées dans un mémoire sur les machines compound de M. Schröter, professeur à l'Ecole polytechnique de Munich, permettent de conclure que l'inventeur de ce genre de machine n'était autre que le constructeur hollandais Roëntgen, fondateur de l'usine de Feyenoord (2).

L'invention dont il s'agit n'eut que peu de notoriété, mais elle ne doit pas être restée complètement inconnue, car, d'une part, tant en France qu'en Angleterre, on retrouve une série de brevets postérieurs à 1834 et relatifs à des modifications à des organes de ce type de machines tels que les réservoirs intermédiaires, ce qui porte à croire que le principe de ce genre de moteurs était connu ; d'autre part il fut construit des machines dans ce système par d'autres constructeurs ; nous pouvons citer les appareils moteurs des bateaux l'*Union* et le *Corsaire noir* naviguant sur la Garonne avant 1840, des machines faites, pour des bateaux du Rhin, à l'usine allemande de Sterkerade en 1848 et d'autres encore.

Ce ne fut toutefois que lorsqu'on se fût familiarisé avec l'emploi des machines à deux cylindres mises en faveur par les applications heureuses de Randolph et Elder qu'on revint à la forme si simple inaugurée par Roëntgen. En France, Benjamin Normand, par sa première application sur le *Furet* en 1860 et par un grand nombre d'autres ultérieures, détermina le courant qui conduisit

1. La liste de ces navires avec les dimensions principales des machines a été donnée dans la *Revue industrielle* du 12 mars 1879.

2. Postérieurement à la lecture de ce rapport, l'auteur a pu voir dans le tome 9, année 1836, des bulletins de la Société Industrielle de Mulhouse, un mémoire de M. Emile Kœchlin sur les machines à vapeur, où est signalée l'existence, dans une filature de Vieux-Thann, d'une machine de 16 chevaux, du système inventé par M. Roëntgen, de Rotterdam, et breveté en France par MM. André Kœchlin et C^e, machine construite par ces derniers. Il est donné des détails et diverses appréciations sur cette machine. On la trouve également mentionnée dans le troisième volume des leçons de Mécanique appliquée de Morin, page 167, (1846).

Il ne peut donc subsister aucun doute sur les titres de Roëntgen à l'invention de la machine à deux cylindres à réservoir, ou machine compound.

à l'adoption définitive de ce genre de machine pour la navigation. Le rôle de B. Normand a été très important dans cette question et son nom occupera à juste titre une place considérable dans l'histoire de la machine compound. D'autre part peu après, la maison Escher Wyss de Zurich, qui, depuis 1859, construisait des machines Woolf pour bateaux, ne tarda pas à adopter le type de machine à réservoir et à le répandre sur les lacs de Suisse et d'Italie où on ne voit plus depuis bien longtemps que des machines de ce genre ; elle eut l'honneur d'exposer en 1867 à Paris la première machine de bateau à deux cylindres de ce type qui eut paru à une exposition.

Chose singulière, les Anglais furent les derniers à se rallier à ce modèle ; ce n'est guère qu'après avoir épuisé une foule de dispositions plus ou moins compliquées et bâtarde qu'ils en vinrent franchement au type si simple de la machine compound à deux cylindres accolés, qui a été pendant quinze ans le moteur classique de la marine. Aujourd'hui pour cette application et pour certaines autres au moins, la machine compound ordinaire paraît devoir être remplacée par la machine à triple expansion dont nous dirons quelques mots en terminant.

II. — *Considérations sur les machines à deux cylindres*

Dans la machine que nous avons appelée à *transvasement*, les pistons marchent ensemble, comme dans la machine de Woolf, ou en sens opposé, comme dans certaines machines plus récentes, celles par exemple de Randolph et Elder, dont il a été question plus haut ; dans ces dernières, le transvasement est pour ainsi dire absolu, car les espaces intermédiaires peuvent être presque entièrement annulés.

Dans les machines à transvasement, le premier cylindre reçoit la vapeur de la chaudière pendant tout ou partie de la course ; à la fin de celle-ci, la communication est ouverte entre les cylindres et la détente se produit entre les deux pistons par différence de volume. Un raisonnement très simple fait voir qu'on peut disposer, pour obtenir une expansion déterminée, de deux facteurs, le volume relatif des deux cylindres et l'introduction au premier cylindre. Le premier facteur ne peut, bien entendu, servir que pour l'étude du projet, mais le second est employé pour faire varier la puissance de la machine une fois exécutée. Autrefois, on donnait de grandes introductions au premier cylindre et des rapports de 4 à 5 entre les volumes, ce qui permettait une expansion totale de 5 à 6 volumes ; depuis, avec des pressions plus élevées, on a mis des distributeurs à détente sur le premier cylindre, ce qui, avec la réduction de l'admission à la moitié ou au tiers à ce cylindre, porte l'expansion totale à 10 ou 15 volumes.

Le point capital de la théorie des machines à deux cylindres est le suivant : le travail total de la vapeur n'y dépend pas du volume du petit cylindre ; il ne

dépend que du volume de vapeur introduit dans ce cylindre, du volume du grand cylindre et de la pression de la vapeur. Le travail est donc le même que si le volume de vapeur introduit dans le petit cylindre était introduit directement dans le grand cylindre et détendu jusqu'à la fin de la course. Ce travail sera donc le travail d'une machine à un seul cylindre de volume égal à celui du grand cylindre.

C'est ce qui a porté tant de personnes à conclure que, le petit cylindre étant pour ainsi dire inutile, il n'y avait aucune raison de le conserver puisqu'il rend la machine plus compliquée, plus lourde et plus coûteuse.

On verra plus loin quelles sont les raisons qui militent en faveur de la présence de ce premier cylindre.

Il est bon de faire observer ici que, dans la machine à transvasement, si la communication reste ouverte entre les deux cylindres pendant toute la course, la pression tombera à la fin au premier cylindre à la pression finale au grand ; il y aura donc une différence des pressions et des températures extrêmes assez grande. Si, au contraire, on coupe la communication entre les deux cylindres avant la fin de la course, il se produira, d'une part, une détente propre de la vapeur dans le grand cylindre et, de l'autre, une compression de la vapeur restée dans le petit. La chute de température sera réduite à ce cylindre, et, de ce chef et de celui de la compression, les conditions de fonctionnement se trouveront améliorées.

On voit immédiatement que, la pression totale étant divisée entre deux capacités, chaque piston a bien moins de charge maximum à supporter que dans la machine ordinaire, où le piston de même section que le grand piston a à supporter la différence totale entre la pression à la chaudière et la pression à l'échappement. De même, la variation totale des efforts est moins considérable que dans la machine ordinaire ; les organes, pour une même pression moyenne effective, c'est-à-dire pour le même travail, ont à subir une pression maximum moins élevée. C'est cette considération qui a été la première et longtemps la seule à faire employer les machines à deux cylindres ; les avantages de ces machines au point de vue thermique, soupçonnés seulement d'abord, n'ont été mis en lumière que plus tard.

Dans la machine à réservoir, les choses se passent un peu différemment. C'est en réalité plutôt un système composé de deux machines successives et étagées dont la première reçoit la vapeur de la chaudière et la décharge dans un réservoir intermédiaire qui alimente la seconde. Chaque machine a dès lors sa distribution propre. Si on appelle P la pression à la chaudière, P' la pression au réservoir intermédiaire, et que, pour plus de simplicité, la pression à l'échappement soit nulle, on comprend aisément que, pour que le travail soit maximum et pour qu'il n'y ait pas de chute de pression entre les cylindres, il faudrait que la

pression au réservoir fût la pression finale au petit cylindre à la fin de sa course; si $\frac{1}{n}$ est la fraction d'introduction au premier cylindre, on a $P' = \frac{P}{n}$; d'autre part, le grand cylindre devant contenir à la pression P' ou à une pression aussi voisine que possible, dans sa période d'admission $\frac{1}{m}$, la vapeur sortant du petit cylindre, on doit avoir nécessairement $\frac{V}{m} = v$ ou $m = \frac{V}{v}$, ce qui indique immédiatement que, pour qu'il n'y ait pas de chute de pression entre les cylindres, l'admission au grand doit être égale au rapport de volumes des deux cylindres. On voit de suite que, si ce rapport est élevé, on sera conduit à avoir au grand cylindre des admissions assez faibles. Pour éviter cet inconvénient, on modère en général le rapport des volumes des cylindres et on le prend toujours plus faible que dans les machines à transvasement; il atteint rarement 4. La condition que nous venons d'indiquer ne peut pas toujours être réalisée en pratique. La suppression absolue de la chute de pression conduirait à une répartition très inégale du travail entre les deux cylindres et on est généralement conduit à accepter une certaine chute de pression qui amène une perte de travail, bien moins considérable d'ailleurs qu'on ne le croit.

On a vu que, dans la machine dont nous nous occupons, la différence des pressions est moindre que dans la machine précédente; au premier cylindre, elle est $P - P'$ et P' au second; il en est de même de la différence des températures correspondantes; c'est un avantage réel sur la machine de Woolf qui compense et au delà la légère infériorité qu'on peut admettre relativement à la manière dont se fait le passage de la vapeur d'un cylindre à l'autre.

Pour bien comprendre les raisons invoquées en faveur de la supériorité des machines à deux cylindres sur les machines où la détente s'effectue dans un seul, il est nécessaire d'examiner d'abord les difficultés qu'entraîne cette dernière opération. Voici comment on peut les classer.

1° On invoque souvent l'influence des espaces neutres. Or si la perte produite par la présence des espaces neutres est absolue dans une machine qui fonctionnerait sans détente, cette perte est très réduite dans les machines à détente, puisque la vapeur qui s'y trouve travaille aussi bien par expansion que le reste; d'ailleurs on peut, dans une certaine mesure, réduire l'influence des espaces neutres par la compression. Le mauvais effet de ces espaces est, en réalité, d'abord de réduire l'expansion effective et, par conséquent, pour une expansion donnée, d'exiger une admission plus faible qu'il serait nécessaire sans espaces neutres. D'autre part, un inconvénient plus grand encore de ces espaces est l'augmentation des surfaces de contact avec la vapeur qu'ils amènent; on verra plus loin les effets de ces surfaces; dans un cylindre de locomotive, l'espace neutre représente 15 à 20 % de la surface totale en contact avec la vapeur.

On a imaginé beaucoup de dispositions pour réduire les espaces neutres au

minimum possible, toutes basées sur l'emploi de quatre distributeurs plans, cylindriques ou à soupapes ;

2° L'emploi d'admissions très réduites exige celui de distributeurs spéciaux déjà justifié d'ailleurs par la considération précédente. La solution est efficace, on ne peut lui reprocher que la complication inévitable qu'elle entraîne, complication qui a contribué notablement à faire accepter de préférence la machine à deux cylindres pour beaucoup d'applications ;

3° Avec de faibles admissions, la variation de l'effort sur le piston est très considérable. Les conséquences de cette variation sont graves et nombreuses. L'irrégularité de l'effort nécessite l'augmentation de poids du volant ou l'emploi de machines accouplées. L'exagération de l'effort initial par rapport à l'effort moyen rend médiocre ce qu'on appelle l'utilisation des organes, et enfin le fait qu'une portion notable de l'effort de la vapeur s'effectue sur le piston dans une position où il transmet difficilement cet effort à l'arbre moteur contribue à réduire le rendement organique de la machine. Ce point a été mis en lumière d'une manière remarquable par des expériences récentes faites aux Etats-Unis. Il n'y a que l'emploi de la machine à deux cylindres qui puisse remédier à cette difficulté. Nous avons déjà indiqué que la variation des efforts y est réduite et le fait qu'une expansion totale considérable peut être obtenue avec des introductions assez grandes à chaque cylindre explique comment l'effort se produit sur les pistons dans des conditions beaucoup plus favorables à la transmission de cet effort à l'arbre que dans la machine à un seul cylindre ;

4° Dans la machine à un seul cylindre, la différence considérable des pressions rend les fuites plus graves que dans les machines à deux cylindres ; aussi, a-t-on remarqué dans ces dernières, une résistance remarquable à l'usure. On voit de vieilles machines de Woolf fonctionner dans un état dont ne s'accommoderaient pas des machines ordinaires ;

5° L'objection la plus sérieuse à l'emploi de grandes détentes, dans un même cylindre, est basée sur des considérations thermiques. La grande variation des pressions dans un même récipient entraîne une différence considérable des températures extrêmes et les conséquences en sont des plus graves.

L'effet pernicieux de cette chute de température constitue le point capital de la théorie exacte de la machine à vapeur.

Les faits sur lesquels elle repose ont été indiqués pour la première fois par Combes et Thomas.

Le 3 avril 1843, en effet, Combes présentait à l'Académie des sciences une note sur les machines à vapeur, laquelle contenait, basée sur des expériences à l'indicateur effectuées par Thomas, le point de départ de la théorie actuelle des machines à vapeur, laquelle peut se résumer comme suit :

Dans les machines (sans enveloppes de vapeur), une partie de la vapeur admise au cylindre se liquéfie immédiatement par l'action refroidissante des parois du

cylindre dont la capacité était quelques instants avant en communication avec le condenseur ; il se forme dans le cylindre de l'eau liquide aux dépens de la vapeur admise, indépendamment de celle qui peut avoir été entraînée de la chaudière. Cette eau liquéfiée se vaporise de nouveau pendant la détente, de sorte que de nouvelles quantités de vapeur s'ajoutent pendant cette détente à la vapeur déjà existante ; ce qui fait que les tensions diminuent moins rapidement que suivant la loi inverse des volumes.

Ce dernier fait est indiqué par la surélévation de la courbe des diagrammes, caractéristique de ce phénomène. Si toute l'eau était vaporisée à la fin de la course, il n'y aurait que demi mal, car la vapeur aurait travaillé, bien que dans des conditions moins avantageuses, mais généralement il reste encore de l'eau à la fin de la course et cette eau se vaporise pendant l'échappement, toujours aux dépens de la chaleur des parois en emportant au dehors du calorique en pure perte, tout comme le ferait une fuite de vapeur. Les parois mises en équilibre de température avec la vapeur qui s'échappe se trouvent ainsi disposées à condenser de nouveau la vapeur arrivant de la chaudière pendant la période d'admission.

Ces faits ont été peu après mis en lumière par D. K. Clark en Angleterre et ensuite par Isherwood en Amérique. Ils ont été complètement élucidés et mis hors de toute contestation par les beaux travaux de Hirn, Leloutre et Hallauer.

On avait remarqué depuis longtemps que la consommation de vapeur des machines fonctionnant à des expansions notables dans un seul cylindre ne correspondait nullement à la quantité de vapeur introduite en apparence au cylindre.

Dans certaines machines, on avait d'autant plus de peine à maintenir la pression à la chaudière et le vide au condenseur que la machine fonctionnait à plus grande détente. Clark avait signalé ce fait sous une forme humoristique, intelligible seulement en anglais « *expansive working is expensive working* ». Cet effet est dû à ce qu'une partie seulement de la vapeur qui passe dans la machine est *sensible* à l'indicateur et qu'un supplément qui peut aller à 50 et 60 % de la quantité fournie par la chaudière passe à travers le cylindre sans laisser de traces autres que le prix du combustible qui a servi à le produire.

La perte due à l'intervention calorifique des parois des cylindres a passé inaperçue longtemps, malgré les indications de Combes et bien que Thomas l'ait introduite avant 1850 dans son enseignement à l'École centrale. La thermodynamique, raisonnant sur des machines immatérielles, et prenant pour point de départ un adiabatisme irréalisable en pratique, n'enseignait qu'une chose, la condensation par le travail pendant la détente ; elle a contribué longtemps à entretenir les idées les plus inexactes sur le fonctionnement des machines à vapeur et les causes de perte qui en réduisent le rendement économique.

Il y a heureusement plusieurs moyens, au moins en théorie, pour atténuer la perte de chaleur due à l'échauffement et au refroidissement alternatifs des pa-

rois du cylindre. Ces phénomènes peuvent être considérés comme proportionnels à un certain nombre de facteurs, tels que la conductibilité et la capacité calorifique du métal, la chute de température, l'étendue des surfaces en contact et la durée de ce contact.

On a proposé d'employer pour les parois des matières de conductibilité et capacité calorifiques moindres que celles de la fonte, par exemple, la porcelaine, le verre ou le plomb.

Monsieur Émery a mis en évidence l'influence des parois au point de vue qui nous occupe par ses curieuses expériences sur des machines à cylindres revêtus de verre.

La machine à deux cylindres agit pour la réduction des condensations initiales par la diminution de la chute de température, comme on le verra plus loin.

On peut également atténuer, sinon cette condensation même, du moins ses effets pernicioeux, pour la fourniture aux parois de chaleur empruntée à une autre source qu'à la vapeur arrivant dans le cylindre. C'est ce qu'on fait en chauffant les parois par l'extérieur au moyen de l'enveloppe de vapeur.

L'enveloppe est due à Watt qui, sans se rendre bien compte du rôle de cette addition, avait l'intuition de la nécessité de maintenir chaud le cylindre. Les élèves et successeurs du grand inventeur conservèrent l'enveloppe jusqu'à ce que les gens se croyant plus avisés, dont Tredgold, émirent l'idée que l'enveloppe ayant plus de surface de rayonnement que le cylindre qu'elle était appelée à protéger, son emploi était un non-sens. Il y eut donc une réaction contre l'enveloppe ; néanmoins certains constructeurs, tels que ceux des machines de Woolf la conservèrent toujours avec une conviction basée sur les indications de la pratique.

Aujourd'hui on apprécie le véritable rôle de l'enveloppe qui est un moyen réellement efficace de réduire la perte de calorique causée par l'action des parois. Sans cet appendice, il serait absolument impossible de réaliser de grandes détentees dans un même cylindre, et on peut dire que c'est l'enveloppe qui seule a permis le succès des machines des types Corliss et autres à cylindres uniques.

On avait, dès les premiers temps de la machine à vapeur, entrevu vaguement l'utilité de maintenir chauds les cylindres, et on essaya, à plusieurs reprises, dans les Cornouailles, de chauffer directement le cylindre par un foyer spécial.

Nous nous rappelons avoir lu, sans pouvoir préciser où, que Woolf avait constaté qu'un boisseau de charbon brûlé directement sous le cylindre produisait autant d'effet qu'un certain nombre de boisseaux brûlés sous la chaudière.

Vers 1875, M. Dixwell, ingénieur américain, proposa de porter, par un chauffage extérieur, les cylindres à une température où il y eut répulsion entre le métal et l'eau (200 degrés centigrades suffisaient d'après lui) et où la condensation initiale intérieure ne put pas se produire. Tout récemment, M. Bryan Donkin a obtenu des résultats très remarquables en chauffant extérieurement le cylindre

d'une machine à vapeur par des becs de gaz. Rappelons à ce sujet, que M. D. K. Clark avait, dans ses recherches expérimentales sur les locomotives, signalé la différence, au point de vue de la condensation intérieure, qui existait entre les machines à cylindres extérieurs et celles à cylindres logés dans la boîte à fumée, comme on le faisait généralement à cette époque et maintenus ainsi plus chauds.

Nous ne ferons que mentionner l'emploi de la vapeur surchauffée qui rentre dans le même ordre d'idées, comme apportant un supplément de calorique. On a employé la surchauffe sur une très grande échelle, surtout à la mer, et, malgré le puissant patronage de M. Hirn, on y a absolument renoncé partout pour des considérations pratiques.

Il nous reste à indiquer comment la détente en cylindres successifs agit très efficacement pour réduire, dans une large mesure, les pertes de chaleur résultant des chutes de température aux cylindres.

Dans le premier cylindre d'une machine compound, il se produit une condensation à l'admission, mais, d'une part, cette condensation est très réduite par rapport à ce qu'elle serait dans le cylindre unique d'une machine ordinaire, puisqu'elle n'est proportionnelle qu'à la chute de température entre 150 et 110 degrés, par exemple, au lieu de l'être à une chute de 150 à 60 ; et d'autre part, la vapeur en quantité réduite, fournie par la revaporisation, travaille en totalité soit dans le premier cylindre pendant la détente, soit dans le second pendant l'échappement du premier.

La perte est donc relativement faible au premier cylindre.

Au grand cylindre, la chute de température est également considérablement réduite, et si la vapeur qui se reforme pendant l'échappement porte son calorique à l'extérieur, elle provient de vapeur qui a déjà travaillé au premier cylindre.

On voit bien que la chute de température est modérée dans chaque cylindre, mais on est quelquefois porté à supposer que les plus grandes dimensions du second cylindre peuvent compenser l'avantage qui en résulte. Il n'en est rien, comme on peut le voir par un raisonnement très simple.

On doit admettre que, toutes choses égales d'ailleurs, la condensation initiale et la revaporisation ultérieure sont proportionnelles à un facteur qui est le produit de la chute de température dans chaque cylindre par la surface en contact avec la vapeur dans ce cylindre.

Supposons une machine à vapeur ordinaire à un seul cylindre, la surface de contact composée de la paroi cylindrique et de deux cercles, l'un pour le fond, l'autre pour le piston étant S et la chute de température τ , le facteur de refroidissement sera $S\tau$. Pour la machine à deux cylindres de même puissance, le grand cylindre étant égal au cylindre unique de la machine ordinaire, la surface sera la même et la chute sera moindre, nous la supposons pour plus de simplicité égale à $\frac{\tau}{2}$, le facteur de refroidissement sera donc $S\frac{\tau}{2}$ pour le grand cylindre. Pour

le petit, la chute sera encore $\frac{\tau}{2}$ et la surface sera toujours moindre de S , elle variera de $0,5S$ pour un rapport de volume de 3 à $0,6S$ pour un rapport de 2, dans ce dernier cas, le moins favorable, on aura $(S+0,6S) \frac{\tau}{2} = 0,8S\tau$ au lieu de $S\tau$, la réduction du facteur de refroidissement sera de 20 %. Dans le cas où on comparerait une machine ordinaire à deux cylindres accouplés avec une machine compound, ayant un cylindre semblable aux précédents et un cylindre de volume double, la réduction du facteur de refroidissement atteindrait 35 %.

Nous nous empressons d'ajouter que cette diminution de la valeur de ce que nous venons d'appeler le facteur de refroidissement ne donne en aucune manière la mesure de l'économie de vapeur de la machine.

Nous ne saurions terminer l'exposé des principes sur lesquels reposent les avantages des machines à deux cylindres sans indiquer deux points importants.

L'efficacité d'une machine de ce genre, lorsqu'elle appartient à la catégorie dite à réservoir, dépend en grande partie de la bonne distribution de la vapeur et cela dans une bien plus grande mesure que pour une machine ordinaire. Toute la vapeur qui entre au premier cylindre doit travailler ensuite dans le second, mais elle peut y travailler dans des conditions plus ou moins favorables suivant le degré d'introduction, lequel influe sur la pression maxima dans ce récipient. On peut faire varier dans des limites assez étendues le travail total d'une machine compound pour le même poids de vapeur admis au premier cylindre suivant la période d'introduction au second cylindre, ce qui est loin de se produire au même degré pour les machines à transvasement. Nous ne croyons pas toutefois qu'à l'époque actuelle, la nécessité d'être étudié avec soin, pour donner de bons résultats, puisse être invoquée comme une objection sérieuse contre un système de machines.

On a également reproché à la machine à deux cylindres de manquer d'élasticité ; c'est-à-dire de ne pas se prêter à de grandes variations dans le travail à accomplir. Sans discuter le bien-fondé de cette objection au point de vue théorique, on peut répondre que le développement de plus en plus grand de l'application de ces machines aux industries diverses, semble indiquer qu'on ne rencontre pas en pratique de bien grandes difficultés de ce chef, et nous ajouterons que l'emploi récent et heureux qui en a été fait pour la machine à travail variable par excellence, la locomotive, est probablement la meilleure réponse à cette objection.

III. — *Machines à triple expansion.*

L'idée de pousser l'application du principe compound au delà de la conjugaison de deux cylindres seulement n'est pas récente. Perkins, l'apôtre des hautes

pressions, l'avait émise depuis longtemps et elle est exposée de la manière la plus précise dans les patentes attribuées à Roëntgen et dans d'autres.

Il est certain qu'il a été construit en Angleterre, pour des filatures, des machines à triple expansion en 1866 et 1870, mais il est non moins certain que la première application de ce genre de machines à la navigation, où il trouve son emploi le plus important, est due à Benjamin Normand. Sa première machine a été, croyons-nous, celle du *bateau omnibus* n° 30 de la Seine qui, commencée en 1870, n'a pu être, par suite de la guerre, achevée qu'en 1871. Ce n'est qu'en 1872 que fut construite la première machine anglaise à triple expansion, celle du *Propontis*. Ces machines se propagèrent très lentement d'abord, mais, lorsque leurs qualités économiques eurent été mises hors de doute, il y a 7 ou 8 ans, elles se répandirent avec une extrême rapidité et actuellement on ne fait déjà plus guère d'autres machines pour la marine commerciale. On applique également avec succès le même système aux machines fixes, comme on peut en juger par quelques spécimens de construction française et étrangère qui figurent au Champ de Mars.

Un principe incontestable de la thermodynamique indique que le rendement calorifique d'une machine thermique est d'autant plus élevé que la différence entre la température à laquelle le fluide intermédiaire entre dans l'appareil et celle à laquelle il en sort est plus grande, à la condition que la chute de température soit déterminée par le travail de ce fluide.

La température finale ne pouvant être abaissée dans les conditions où fonctionnent nos machines, on ne peut que chercher à élever la température initiale, c'est-à-dire, pour la machine à vapeur, la pression à la chaudière. Avec la machine compound ordinaire, la limite est vite atteinte ; on ne dispose que de deux facteurs pour déterminer l'expansion totale, la détente au premier cylindre et le rapport des volumes des deux cylindres, l'exagération de chacun de ces facteurs entraîne les inconvénients des chutes excessives de pression et de température qu'on constate dans les machines à cylindre unique. On est donc amené forcément à diviser la chute en trois périodes au lieu de deux, et à faire, pour le petit cylindre de la machine compound, ce qu'on a fait précédemment pour le cylindre unique de la machine ordinaire, c'est-à-dire à le décharger de la pression directe et de la température élevée de la vapeur de la chaudière en recevant d'abord celle-ci dans un *avant-premier* cylindre.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur la machine à triple expansion dont il nous paraît suffisant d'indiquer le principe.

On a été encore plus loin et on a déjà construit quelques machines à quadruple expansion fonctionnant à des pressions très élevées. Il est évident que l'emploi qui tend à se propager de chaudières formées de petits éléments, chaudières éminemment aptes à supporter de hautes tensions, constitue une circonstance très favorable au développement des machines à cylindres multiples.

Progrès réalisés dans les machines à vapeur depuis 1878

CONFÉRENCE de M. E. POLONCEAU

INGÉNIEUR EN CHEF DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS

C'est seulement sur la demande réitérée du comité d'organisation du Congrès international de mécanique, et tout spécialement de son savant président, M. Phillips, que j'ai accepté de vous parler des *progrès réalisés dans les machines à vapeur depuis 1878*, car, pour traiter une question aussi vaste, aussi importante, il m'aurait fallu plus de temps et plus de talent que je n'en ai ; mais, grâce à l'extrême obligeance de divers ingénieurs et constructeurs, j'ai pu au moins réunir des renseignements très intéressants, que je vais avoir l'honneur de vous soumettre.

Afin de constater les progrès des machines à vapeur depuis 1878, il est nécessaire de vous donner d'abord, aussi rapidement que possible, un aperçu de la situation générale de ces machines à l'Exposition universelle de 1878, puis de passer en revue les principaux types exposés. J'arriverai ensuite à l'Exposition de 1889.

La machine à vapeur était représentée à l'Exposition universelle de 1878 sous les formes les plus diverses et à tous les degrés de puissance ; cependant elle se caractérisait par le nombre assez considérable de machines à quatre distributeurs ; les machines les plus répandues étaient encore les machines à détente Meyer, à détente à cames Farcot, variable par le régulateur. Il n'y avait qu'un petit nombre de machines *compound* proprement dites à manivelles à 90°. Il était déjà à remarquer que les pressions s'élèvent graduellement au fur et à mesure que les détails de construction, et spécialement le graissage et l'art de faire les joints, se perfectionnent.

Les pressions ne dépassent guère 5 à 6 kilogrammes, mais tendent à augmenter.

Les vitesses de marche suivent une progression de même ordre ; une machine, exposée par la Société de construction de Winterthur, marchant à une vitesse de 100 à 200 tours, est déjà très remarquée. En général, il y a tendance à imprimer aux machines des vitesses de plus en plus grandes, l'exemple des locomotives, et à la suite des machines marines à hélice, ayant démontré que la vitesse n'entraîne nullement une diminution d'effet utile de la vapeur.

Une machine à mouvements rapides est plus coûteuse d'entretien qu'une machine lente, et s'use plus vite; mais elle est moins chère d'achat, à égalité de puissance, et elle occupe moins de place.

Les diverses articulations se font généralement d'une manière simple; on ménage avec soin le graissage et le rattrapage de jeu. Les antifrictions et les bronzes phosphoreux commencent à entrer en 1878 dans la pratique courante d'un certain nombre de maisons. Comme conséquence des grandes vitesses, alors en usage, il y a tendance à augmenter l'étendue des contacts entre pièces frottantes.

Pour la distribution, les lumières affectaient trois dispositifs principaux :

1° Quatre lumières, organisme compliqué, indépendance des fonctions, espaces nuisibles faibles ;

2° Deux lumières rapprochées à leurs orifices extérieurs et distributeur unique, distribution très simple comme organes, plus imparfaite comme fonctions, espaces nuisibles très grands.

3° Deux lumières courtes, organes en général plus simples que le premier dispositif.

Comme formes de bâti données aux machines horizontales, il y a déjà une tendance marquée par les constructeurs à adopter le bâti du type *Corliss*, c'est-à-dire le bâti forme *baïonnette*.

Nous allons citer les principales machines exposées, en nous basant sur le mode de distribution :

1° *Distributions par tiroirs et excentriques circulaires;*

2° *Distributions genre Corliss;*

3° *Distributions genre Sulzer;*

4° *Distributions par excentriques à ondes;*

5° *Distributions diverses;*

6° *Machines Woolf et compound.*

1° DISTRIBUTIONS PAR TIROIR ET EXCENTRIQUES CIRCULAIRES.

Cette distribution était encore et de beaucoup la plus usitée. Les grandes machines fixes étaient presque toutes à condensation, et leur distribution était compliquée.

Les distributions par tiroirs superposées étaient représentées à l'Exposition principalement par le type Meyer et le type Farcot.

La maison Farcot, ayant exposé une machine construite suivant cette distribution, cette machine, d'une exécution remarquable, résumait de longues et savantes études.

La Compagnie de Fives-Lille, et la maison Buffaud frères, de Lyon, exposaient des machines à distribution Farcot, d'une exécution supérieure et d'une grande élégance de formes; citons encore la maison Boyer et la maison Breval.

La maison Berr, de Belgique, avait exposé une grande et belle machine d'extraction avec recouvrement de marche et distribution Meyer; la maison Buffaud frères, de Lyon, en exposait également une d'une exécution fort remarquable.

A citer également la machine Duvergier, marchant avec une grande régularité d'allure, régularité obtenue au moyen de la distribution Meyer, légèrement modifiée.

2° DISTRIBUTION GENRE CORLISS.

Comme la construction de ces machines doit être supérieure, et l'entretien fait par des ouvriers expérimentés, à cause des organes qui sont un peu délicats, les machines Corliss, exposées en 1878, étaient généralement remarquables par le soin apporté dans le tracé des diverses pièces, dans le choix et le travail des matériaux, *qualités et conditions sans lesquelles ces machines, fonctionnant mal, n'auraient pas de durée.*

Plusieurs constructeurs avaient exposé des machines Corliss, ne différant que par des détails, des dispositions ordinaires; nous citerons entr'autres les maisons Le Gavrian et fils, à Lille; Corbran et Lemarchand, du Petit-Quevilly (Seine-Inférieure); Lecouteux et Garnier, de Paris, dont les expositions se faisaient remarquer par le fini de l'exécution et la perfection de l'ajustage.

On voyait encore un grand nombre de machines à distribution dérivée d'une façon plus ou moins directe du type Corliss.

La maison Cail et C^{ie}, de Paris, exposait une fort belle machine du système Corliss, avec distributeurs circulaires, commandés par un déclanchement d'une disposition fort ingénieuse.

Outre sa machine à distribution par tiroirs, dont nous avons eu occasion de parler, la maison Farcot avait exposé deux puissantes machines horizontales du type Corliss, avec quelques modifications importantes dans les distributeurs circulaires.

La maison Wheelock, de Worcester, avait fourni la machine motrice de la section américaine. Cette machine était du type Corliss.

3° DISTRIBUTIONS GENRE SULZER.

Le système de distribution, créé par la maison *Sulzer frères*, de Winterthur, comportait quatre soupapes à deux sièges, deux pour l'admission, deux pour l'échappement. MM. Sulzer frères furent amenés, en 1878, à superposer à

leur système de distribution la détente par échelons. Ils exposèrent des machines de leur système, fort belles et remarquables à tous égards.

Plusieurs machines du type Sulzer, fort bien construites en général, étaient exposées par diverses maisons; nous citerons, parmi les plus remarquables, celles de MM. Escher, Wyss et C^{ie}; de MM. Satre et Averly, de Lyon; de la Compagnie d'Anzin, etc.

4° DISTRIBUTIONS PAR EXCENTRIQUES A ONDES.

Nous citerons en premier lieu la machine compound, exposée par MM. Claparède et C^{ie}, à Saint-Denis (Seine).

La maison Artige et C^{ie}, de Paris, exposait une machine horizontale dont les tiroirs d'admission étaient actionnés par une paire de manchons à bosses, coulisant sur l'arbre de commande et déplacés par le régulateur.

Mentionnons encore la machine motrice de la Section belge, exposée par la maison Cail, Halot et C^{ie}, de Bruxelles, comportant une distribution à quatre tiroirs plats mus par des cames.

5° DISTRIBUTIONS DIVERSES.

L'Exposition présentait un grand nombre de distributions diverses, plus ou moins originales et ingénieuses; quelques-unes fort intéressantes, comme étude de cinématique.

Une des machines, les plus intéressantes à ce point de vue, était celle de la *Société suisse pour la construction des machines de Winterthur*.

6° MACHINES WOOLF. COMPOUND.

Les machines à plusieurs cylindres, en 1878, étaient peu connues; il y avait une foule de problèmes obscurs: proportions des cylindres, mouvements des pistons, etc. L'Exposition portait l'empreinte de ces hésitations et présentait un grand nombre de systèmes différents de machines à plusieurs cylindres.

On pourrait diviser ces machines en deux grandes classes:

1° Celles dans lesquelles les deux pistons arrivent *en même temps* aux extrémités de leur course, et dont la distribution est disposée de telle sorte que la vapeur, au sortir du petit cylindre, entre directement dans le grand; on réserve assez ordinairement aux machines de cette classe la dénomination de *machines de Woolf*.

2° Les machines dites compound, dans lesquelles la vapeur, en s'échappant du petit cylindre, se rend dans un réservoir intermédiaire, d'où elle est puisée par la distribution du grand cylindre.

Dans les machines compound il n'y a *aucune relation nécessaire entre les mouvements des deux pistons* et ils peuvent arriver à bout de course, soit simultanément, soit à des moments différents.

Une machine Woolf remarquable par sa belle exécution était celle exposée par la maison Windsor et ses fils de Rouen.

Citons encore les machines de MM. Boyer, de Lille, Thomas Powell, de Rouen, Boudier frères, de Rouen, les unes et les autres fort bien entendues et construites.

Dans toutes ces machines, les deux cylindres étaient à enveloppe complète de vapeur ; la détente était fixe dans le grand cylindre ; dans le petit cylindre, la détente était variable par le régulateur.

Le système Woolf était appliqué à un certain nombre de machines horizontales, mais en général le mode de fonctionnement n'était pas tout à fait le même que dans les machines verticales, seul le moteur Woolf de la maison Hermann-Lachapelle faisait exception ; les deux cylindres étaient côte à côte et enveloppés dans une même chemise de vapeur, les deux pistons étaient attelés sur une traverse unique, sur laquelle était montée la petite tête de bielle. La distribution était obtenue par un seul tiroir, placé sur le côté du petit cylindre, distribution fixe au grand cylindre.

Les machines outils en mouvement dans la section anglaise étaient actionnées par une magnifique machine construite par la maison Galloway et ses fils, de Manchester, c'était une machine Woolf horizontale avec deux cylindres accolés agissant sur des manivelles opposées.

Cette machine, quoique à condensation, n'avait pas d'enveloppe de vapeur, ce qui était une exception.

MM. Boudier frères, de Rouen, exposaient également une machine Woolf horizontale, à manivelles opposées dont la distribution était obtenue par un tiroir unique, et la détente par un obturateur de l'arrivée de vapeur mû par déclenchement.

Dans la section Espagnole on voyait figurer une machine construite par la maison *Alexandre frères*, de Barcelone. Cette machine était du système Woolf avec cylindres verticaux en dessous de l'arbre de couche, les deux pistons étaient fixés sur la même tige et le petit cylindre appliqué immédiatement au-dessus du cylindre de basse pression.

Toutes les machines du *système compound* qui figuraient à l'Exposition, étaient à deux cylindres à action directe et se rapportaient à deux dispositions principales, suivant que les deux cylindres disposés côte à côte agissaient sur

deux manivelles calées à angle droit, ou qu'ils étaient placés sur le prolongement l'un de l'autre.

En dehors des avantages généraux de la détente par haute et basse pression, l'emploi de deux manivelles à 90° a pour effet de donner au moteur beaucoup plus de régularité qu'une manivelle unique, ce qui permet de rendre le volant plus léger sans nuire à l'uniformité de la vitesse.

MM. Weyher et Richemond, administrateurs de la Société de construction de Pantin, avaient exposé une machine fixe compound de 120 chevaux à deux cylindres placés côte à côte dans une enveloppe commune de vapeur, agissant sur des manivelles à angle droit.

Le Creusot exposait une belle machine verticale à deux cylindres, système compound, elle avait l'avantage d'être établie au complet au dessus du sol sur un simple bloc en maçonnerie. L'arbre moteur qui est l'organe le plus fatigué dans les machines, se trouvait dans la région la plus basse et conséquemment dans la partie qui offre le plus de stabilité.

L'appareil de condensation était en contre bas des cylindres ; la vapeur condensée et l'eau qui pouvaient être entraînées depuis les cylindres, trouvaient par là un écoulement naturel et facile, et les cylindres eux-mêmes étaient préservés ainsi de toute chance d'accident pouvant provenir des coups d'eau.

La vapeur venant des chaudières était reçue dans un premier cylindre dit cylindre d'admission ; après y avoir fonctionné, elle passait dans un second, où le travail s'achevait par détente et condensation.

L'admission de la vapeur aux cylindres était réglée par des tiroirs à introduction variable.

La machine exposée par la maison Claparède et C^e présentait des qualités d'un ordre différent. C'était une machine compound horizontale à deux cylindres côte à côte dont la puissance, à la vitesse de 40 tours, était d'environ 150 chevaux.

Citons encore la machine horizontale à deux cylindres exposée par la Société de construction des Batignolles de Paris ; ainsi qu'une très belle machine horizontale à deux cylindres, présentée par la Compagnie des usines de J. et C.-G. Bolinder de Stockholm (Suède).

Les deux importantes maisons qui tenaient une place si considérable dans la section Suisse, Sulzer frères de Winterthur et Escher Wyss et C^e de Zurich, avaient exposé l'une et l'autre une machine compound horizontale se ressemblant par plus d'un point ; les deux cylindres horizontaux étaient dans le prolongement l'un de l'autre, le cylindre à haute pression plus près de la manivelle ; ils étaient réunis par une forte pièce en fonte ; la distribution était du genre Sulzer et la détente variable avait lieu dans les deux cylindres.

Il existait dans les galeries et dans les annexes, un grand nombre d'autres machines fixes intéressantes soit par leur exécution, soit par leur conception, mais les quelques machines que nous venons de passer en revue peuvent être considérées comme représentant les principaux types en usage en 1878.

Exposition de 1889

Les modifications apportées à la construction des machines à vapeur depuis 1878 peuvent se rapporter à trois causes principales :

1° La nécessité d'avoir des moteurs puissants à rotation rapide, pour répondre aux besoins des usines productrices d'électricité ;

2° La production du cheval vapeur au plus bas prix possible par les diverses machines employées par l'industrie.

3° La nécessité d'avoir des machines très puissantes du plus petit volume possible et d'un faible poids.

Nous verrons pour la seconde catégorie de machines que nous examinerons, c'est-à-dire pour les machines marines qu'une autre considération a amené les ingénieurs à construire les chaudières et les machines de torpilleurs dans les conditions d'établissement des locomotives, pour avoir des machines puissantes et d'un faible poids.

Les machines fixes industrielles, sur lesquelles nous allons nous étendre en premier lieu, ont été modifiées et perfectionnées en vue des considérations que nous venons d'exposer.

La première chose qui frappe dans l'examen des machines exposées en 1889, c'est la vitesse de rotation qui atteint des valeurs qu'on n'avait pas cru pouvoir obtenir jusqu'à ce jour, soit en se plaçant au point de vue de la sécurité et de la résistance des pièces du mécanisme, soit en se plaçant au point de vue de la bonne utilisation de la vapeur.

Certaines machines puissantes marchent à 150, 200, 300 tours ! et plusieurs machines de 30 à 40 chevaux atteignent 4 et 500 tours !

La première conséquence de ces grandes vitesses, en dehors de la résistance des pièces employées dans le mécanisme, a été d'amener le graissage à une grande perfection.

Dans toutes les machines à grande vitesse, le graissage est assuré en marche par les godets graisseurs situés à la portée du mécanicien et portant l'huile sur les tourillons à l'aide de conduits à genouillères.

Le graissage à la graisse est appliqué à un certain nombre de machines à l'aide de graisseurs par pression du système Stoffer ou de dérivés (machines Berger-André du Phénix, Wheelock, etc.).

Le graisseur Consolin, le graisseur Bourdon à gouttes visibles sont très répandus et on peut dire d'une façon générale que les huiles minérales pures et mélangées de suif, d'huile de Colza, etc., ont remplacé à peu près partout l'huile végétale pure.

Nous devons signaler le graisseur central appliqué à une machine Sulzer et à une machine de Windsor, ainsi qu'à diverses autres machines.

Le tourillon est mis en communication par un tube creux avec une ampoule ayant le même centre que l'arbre moteur. Dans cette ampoule vient déboucher le tube d'un graisseur ordinaire à syphon ; l'huile en arrivant est chassée par la force centrifuge jusqu'au tourillon à graisser.

Le graissage dans les machines marines est d'une importance capitale au point de vue de la conservation des chaudières.

La condensation par surface ramène périodiquement dans la chaudière la graisse entrée dans les cylindres, de sorte qu'au bout d'une campagne la quantité de matières grasses contenues dans l'eau est très considérable. On sait que les pertes d'eau sont compensées par l'emploi d'eau distillée.

Avec le graissage ancien à l'huile végétale, on avait des corrosions très rapides des tôles et lorsque la production des chaudières fut poussée à ce qu'elle est aujourd'hui, on dût rapidement abandonner les graisses végétales pour arriver aux graisses minérales.

Ce procédé de lubrification donne encore lieu à des dépôts sur les ciels de foyers qui peuvent acquérir une très grande épaisseur, mais, qui, sous une forme pelliculaire de quelques dixièmes de millimètres isolent en quelque sorte le métal de l'eau et lui permettent d'atteindre la température du rouge.

Les expériences de M. Hirsch à ce sujet sont concluantes. On voit donc qu'il faudrait arriver à ne pas graisser les organes internes de la machine marine pour obtenir des tôles se conservant bien.

L'emploi des tiroirs cylindriques équilibrés diminue beaucoup la quantité d'huile à employer, mais cela n'est encore pas suffisant.

M. Normand a fait divers essais tendant à l'application d'un filtre à graisse à l'échappement et les résultats obtenus semblent justifier cette complication.

L'emploi des huiles minérales est encore fort répandu dans la marine pour le graissage du mouvement, mais c'est là une chose peu recommandable, car il a été constaté qu'il se faisait des rentrées de matières grasses dans la chaudière par les presses-étoupes.

Les machines Farcot, Lecouteux et Garnier, ont comme graisseurs un appareil à piston du Capitaine Leneveu. Le piston est mû par une roue tournant sur la tige filetée ; la roue est mise en mouvement par une vis attaquée par une roue à rochet qui reçoit elle-même son mouvement d'un petit pendule qui oscille sous l'influence du déplacement de la bielle motrice de chaque côté d'un plan vertical.

Les progrès obtenus dans la confection des joints, dans la construction des chaudières, grâce à l'emploi des riveuses hydrauliques et d'un métal supérieur, ont permis d'élever les pressions sans qu'on y ait trouvé d'autre inconvénient que la difficulté d'emploi des injecteurs au delà de 12 kilogrammes, difficulté résolue du reste par l'emploi de certains injecteurs.

Les machines fixes sont établies pour marcher à une pression voisine de 7 ki-

logrammes en général, et allant jusqu'à 12 kilogrammes (machines Biérix); les chaudières des torpilleurs arrivent à 12 et 14 kilogrammes.

Quant aux locomotives, elles sont timbrées à 15 kilogrammes pour les machines compound P.-L.-M.; 14 kilogrammes, machines compound du Nord; 13 et 12, machines ordinaires de la Compagnie d'Orléans et de la Compagnie du Nord, et de 10 à 12 kilogrammes pour les machines belges et anglaises exposées.

En même temps que les pressions s'élèvent, les espaces morts diminuent; dans les locomobiles peu étudiées, ils atteignaient 15 %, que l'on peut considérer comme un maximum, puis on est descendu rapidement à 10 et 8 %, ce qui est encore le cas général des locomotives. Actuellement, les machines ordinaires en bon état, présentent 6 à 8 %, et les machines à quatre distributeurs ont de 3 à 6 %. L'Exposition de 1889 nous montre une machine à vapeur à distribution Stoppani, construite par M. Dyckhoff, à deux distributeurs, qui a 1,25 % d'espace mort.

A la question des espaces morts, se rattache intimement la question de la compression qui, seule, permet les grandes vitesses, en évitant les chocs à fin de course, et qui en même temps réchauffe les fonds de cylindre. Cet emploi de la compression, qui était autrefois limité presque exclusivement aux locomotives, est, on peut le dire, devenu la règle générale de toutes les distributions, sauf à varier d'importance avec la vitesse à obtenir.

En raison de la vitesse demandée aux machines, on a dû recourir à des vitesses de piston qui sont loin des limites classiques de 1^m50 à 2 mètres, qu'on s'imposait autrefois.

La vitesse de 3 mètres est courante; la machine à distribution Frikart à dé clic atteint 4 mètres de vitesse de piston à la seconde, et les machines des torpilleurs ont une vitesse de piston de 5 à 6 mètres.

La machine réversible, des Laminoirs de la Société du Nord et de l'Est, a une vitesse de piston de 7 mètres, qui nous a été signalée par l'ingénieur en chef de la Société Cockerill, M. Kraft.

Ces vitesses sont admissibles, puisque, dans les locomotives à roues de 2 mètres, marchant à 100 kilomètres, vitesse journallement atteinte, on a des vitesses de piston en moyenne de 7^m,50, et des vitesses maxima de 11^m,860 au milieu de la course. Enfin, cette vitesse de 100 kilomètres à l'heure est encore dépassée dans certains cas.

Comme détail de construction des machines à vapeur, nous pouvons signaler l'emploi général du bâti Corliss à *baïonnette*, avec glissières ménagées dans la partie cylindrique qui vient se fixer au cylindre à vapeur par des boulons; le palier moteur est aussi généralement à réglage extérieur par vis, ce qui permet au fur et à mesure de l'usure, d'avoir toujours un réglage mathématiquement exact, sans avoir à faire le levage de l'arbre. Nous décrirons en détail celui de la machine Farcot de 1000 chevaux.

Nous devons également signaler l'emploi général de la chemise à vapeur pour les machines à grande détente.

Les cylindres sont construits avec fourreau rapporté en fonte dure, ce qui donne d'excellents résultats.

Nous pouvons également citer un détail de construction qui est fort répandu à l'Exposition de 1889 : c'est l'emploi de *tôles au bois* non peintes pour l'enveloppe des cylindres. Les machines Sulzer, Escher-Wyss, Carells, de la Société de Bâle, de la Société de Winterthur, etc., emploient ces tôles, qui sont d'un fort joli aspect et économisent la peinture.

Quant aux condenseurs, on les trouve toujours disposés de façons diverses, soit en tandem, soit en dessous, ces diverses dispositions répondant le plus souvent à des nécessités particulières.

M. de Quillacq a muni sa machine compound de deux condenseurs; cette disposition, qui lui a été demandée par l'arsenal de Lyon, permet la marche à condensation avec chacun des cylindres, en cas d'avarie.

Nous avons vu, qu'à l'Exposition de 1878, les machines fixes compound étaient en petit nombre, une dizaine tout au plus, et de puissance moyenne.

En 1889, au contraire, l'Exposition est caractérisée par l'emploi général de la machine compound. Il y a les 9/10 des machines exposées qui appartiennent à ce genre, et, de plus, un type semble prédominer d'une façon exclusive : c'est celui où les deux cylindres horizontaux sont parallèles et séparés par le volant. Chaque machine, en particulier, a tous les perfectionnements actuels : bâti à *baïonnette*, distributeurs à déclié, etc. — C'est là *le type des machines motrices*.

Au premier type, appartiennent les machines de Quillacq, d'Escher Wyss, Sulzer, Carells, Compagnie du Phénix de Gand, Pernell; Berger-André, Olry et Granddmange, etc.

Les machines compound, type Pilon, à grande vitesse, pour lumière électrique, sont représentées en grand nombre : machines Weyher et Richemond, Farcot, Sautter et Lemonnier, Bréguet, d'Oerlikon, Sulzer, etc.

Faut-il conclure de là que la machine compound, avec distribution perfectionnée va s'imposer à l'industrie et être admise d'une façon exclusive? Nous ne le croyons pas; on doit à ce sujet faire entrer en ligne de compte l'avis des ingénieurs en chef d'associations de propriétaires de machines à vapeur, MM. Bour, Walther-Meunier, Compère, qui ont examiné la question avec une compétence indiscutable, et qui ont eu sous les yeux, dans les usines, des machines à leur état normal de fonctionnement. Nous donnons en note les conclusions de leurs rapports (notes A et B jointes au mémoire).

Les usines du Creusot, qui ont établi un grand nombre de machines à vapeur perfectionnées dans ces dernières années, construisent également des machines à déclié avec deux cylindres à vapeur fonctionnant en compound, et les ingé-

nieurs du Creuzot « pensent, que dans bien des cas, l'emploi de ces machines compound n'est pas avantageux. » Divers constructeurs ont la même opinion.

En prenant les meilleurs résultats obtenus avec des machines mono-cylindres et avec des machines compound, on trouve comme différence 1 kilogramme par cheval et par heure; cette différence peut diminuer et être anéantie par des perturbations très légères dans la distribution de la machine compound; les notes A et B en font foi.

Par conséquent, que reste-t-il à la machine Compound? A détente égale, une machine compound, de même force qu'une machine mono-cylindre, a son grand cylindre égal à celui de la machine à cylindre unique; le petit cylindre est donc un supplément de prix, d'achat, d'entretien, de graissage; on a l'encombrement de plus, des fondations importantes à construire; par contre, la régularité de la machine est plus grande.

Il ressort, de ces diverses considérations, que la machine compound ne s'impose guère que dans le cas où l'industrie à laquelle elle doit s'appliquer demande une grande régularité d'allure en même temps qu'un travail constant.

Nous devons signaler l'apparition de la machine à triple expansion comme machine fixe; la machine Theiss, et la belle machine à trois cylindres en tandem, exposée par la maison Sulzer; les machines Willans; les machines Farcot, Rebourg, Weyher et Richemond, etc..., et même la machine à quadruple expansion construite par la maison Powell, de Rouen, etc.

En dehors de ces machines, on voit un grand nombre de machines mono-cylindres à déclat; machines du Creusot, Brasseur, Lecouteux et Garnier; Fives-Lille, Dyckhoff, Farcot, etc...

Ces machines, comme les machines compound, servent dans les diverses stations d'électricité à mettre les dynamos en mouvement; mais, un grand nombre de types de machines spéciales à grande vitesse ont été créés, pour l'attaque des machines électriques, on peut les diviser en trois classes :

1° *Machines pilons simples ou compound*; machines *Weyher* et *Richemond*, *Farcot*, *Sautter* et *Lemonnier*, *Bréguet*, *Oerlikon*, *Lecouteux* et *Garnier*, etc.

2° *Machines horizontales à grande vitesse*, type *Armington* et *Sims*; machines de la Société de construction mécanique de Bâle (système *Burgin*), *Lecouteux* et *Garnier*.

3° *Machines compactes*, *Westinghouse*, *Weidnecht*, etc.

On peut y adjoindre le *turbo-moteur*, construit par MM. *Weyher* et *Richemond*, et quelques machines rotatives *Bonjour*, *Minary*, etc.

Nous pouvons, à propos des deux classes de machines à grande vitesse, décrire dès à présent deux types de régulateurs à force centrifuge, placés dans le volant, qui sont d'un usage très répandu actuellement, et qui permettent d'obtenir des allures, remarquablement régulières, aux plus grandes vitesses.

Le premier brevet pris par Hartwell, relatif à ce mode de régulateur, remonte à 1870, une machine fut construite en Angleterre par Turner, et un brevet ayant même objet fut pris en France par M. Raffard, en décembre 1871. Dès 1876, ce type se répandait en Amérique, mais ce n'est guère que depuis quelques années que la construction de types analogues s'est répandu en France.

A deux types peuvent se rapporter tous les autres.

1° Le plus répandu aux Etats-Unis est celui dû à M. Armington et appliqué aux premières machines Armington et Sims qui parurent.

Il se compose de pièces destinées par leurs variations de positions respectives à changer la détente par changement d'angle de calage tout en laissant l'avance à l'admission sensiblement constante ; la tige de commande du tiroir est attaquée par un collier d'excentrique entourant un excentrique en deux parties ~~AC~~ et D. L'excentrique intérieur est fou sur l'arbre moteur et porte venue de fonte, une douille à oreilles ; cette douille est reliée par les bielles I, I' à deux masses M et M' articulées en deux points du volant.

Tout mouvement des masses fait donc varier la position de l'excentrique sur l'arbre.

Ce premier excentrique est entouré d'un deuxième excentrique relié à l'une des masses M' par la bielle E, c'est ce second excentrique qui porte le collier.

Les pièces sont disposées de façon que, lorsque les contre-poids sont dans leur position intérieure correspondant à un minimum de vitesse, le rayon d'excentricité de l'ensemble des deux disques C et D est donné par la ligne OO_1 , et pour le maximum de vitesse par la ligne OO_2 , OO_2 correspondant à une admission de 75 % de la course et OO_1 à une admission nulle.

L'avance à l'admission est constante pour tous les degrés d'admission.

Cette disposition donne donc tous les degrés de détente avec un seul tiroir.

2° Le régulateur *Lecouteux et Garnier*, dérivé du précédent, en diffère sensiblement par le détail.

Il n'y a qu'un seul corps d'excentrique faisant partie de la masse soumise à l'action de la force centrifuge. Cette masse M est soumise à l'action d'un ressort à pincettes et d'un frein à graisse demi-fluide F, formant cataracte ; l'excentrique est guidé dans son mouvement rectiligne par deux tiges cylindriques parallèles, et il est alternativement dirigé dans un sens ou dans l'autre soit par le contre-poids, soit par le ressort.

Pendant la marche, sous l'influence de la force centrifuge le contre-poids s'éloigne du centre, entraîne l'excentrique en tendant le ressort et le rayon d'excentricité OO' diminue.

On voit donc que le tiroir subit directement ces variations et par suite la détente faible à petite vitesse augmente avec l'accélération et prend une certaine valeur de régime en rapport avec le travail à effectuer.

Il y a beaucoup d'autres régulateurs, entr'autres le régulateur Proëll, le régu-

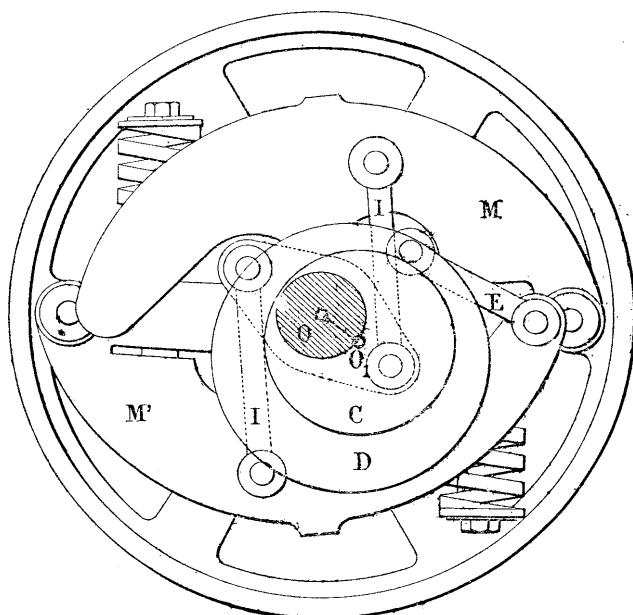
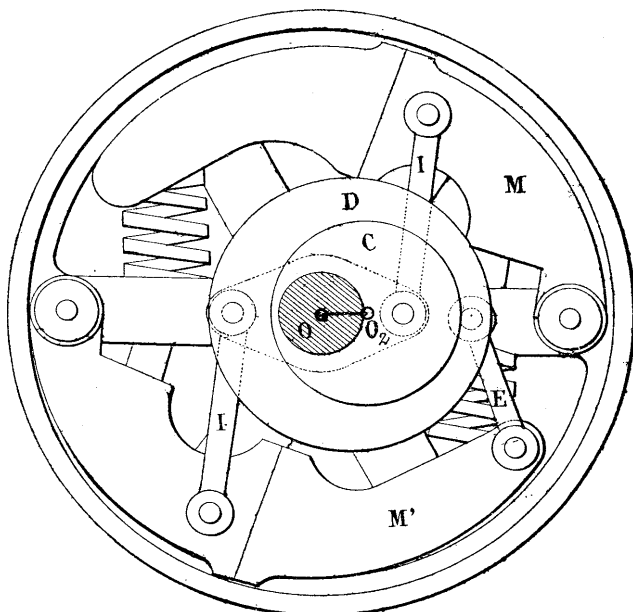


FIG. 1. — RÉGULATEUR ARMINGTON, POSITION INTÉRIEURE

FIG. 2. — RÉGULATEUR ARMINGTON,
POSITION CORRESPONDANT AU MAXIMUM DE VITESSE

lateur Boulet dont les masses sont creuses et peuvent être plus ou moins alour-

dies, d'après le travail voulu, par l'addition de plomb, les régulateurs Dantel, Hadley, Buckeye, Oerlikon, Westinghouse, etc.

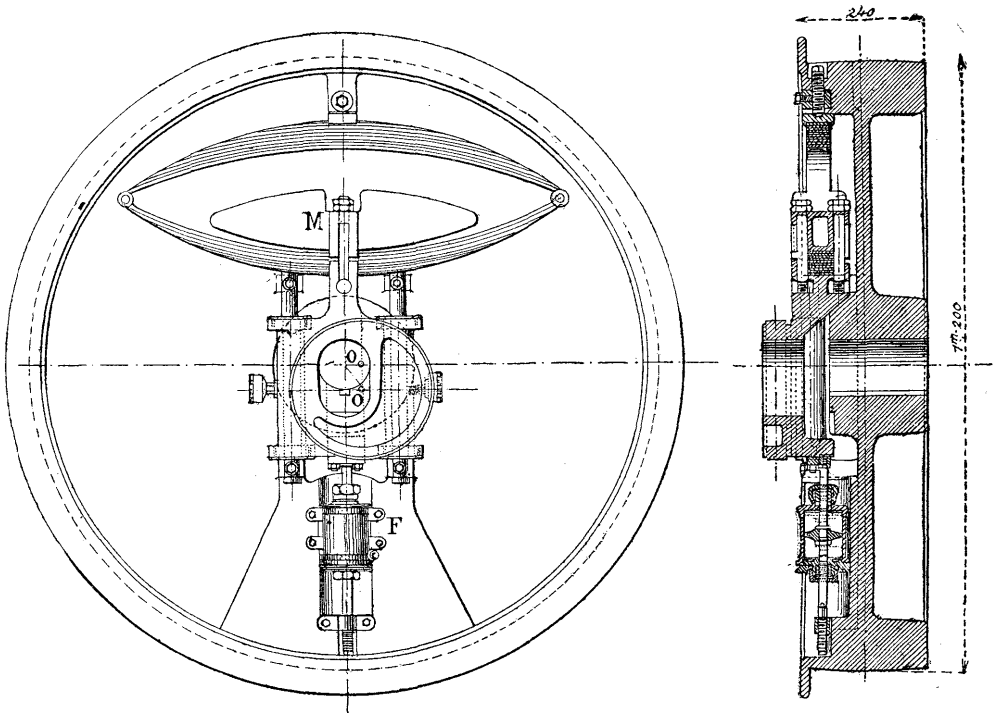


FIG. 3 ET 4. — RÉGULATEUR LECOUTEUX ET GARNIER

On voit que les anciennes distributions Meyer et Farcot (à cames) ne sont guère plus employées, la puissante machine de 1000 chevaux exposée par M. Farcot est à déclié, de son propre système.

Certains constructeurs ont remplacé dans des machines à déclié, le tiroir rotatif par un tiroir plat.

On peut citer :

Le nouveau type de machine *Wheelock* à distributeur à grille, construit par M. de *Quillacq*.

La machine de MM. *Casse* et *Fourlinnie* à quatre distributeurs plans.

La machine de la Compagnie de *Fives-Lille*.

La machine Brown de la section américaine.

La machine de la société Verviétoise, etc.

Les machines à soupapes sont toujours en faveur, et la maison Sulzer expose une soupape en bon état, après 15 ans de fonctionnement ; ce cas paraît un peu spécial et il nous semble difficile d'admettre les soupapes comme le meilleur organe pour les distributeurs.

La maison Biétrex expose un distributeur à boisseau en bon état, après 4 ans de fonctionnement et applique cet appareil à toutes les machines qu'elle construit.

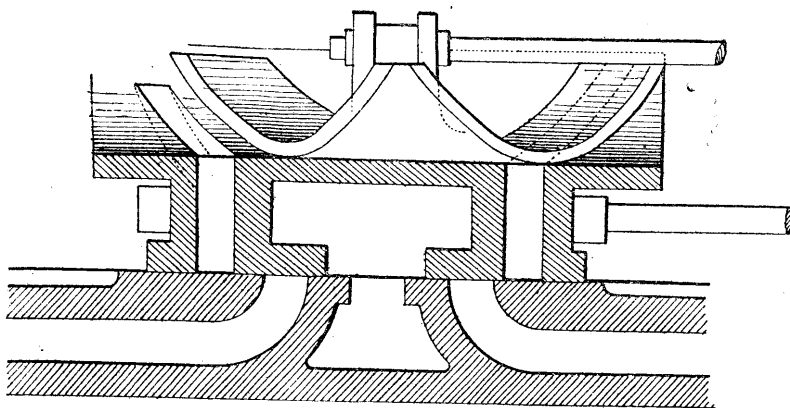
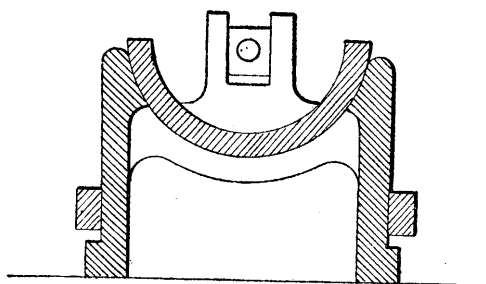
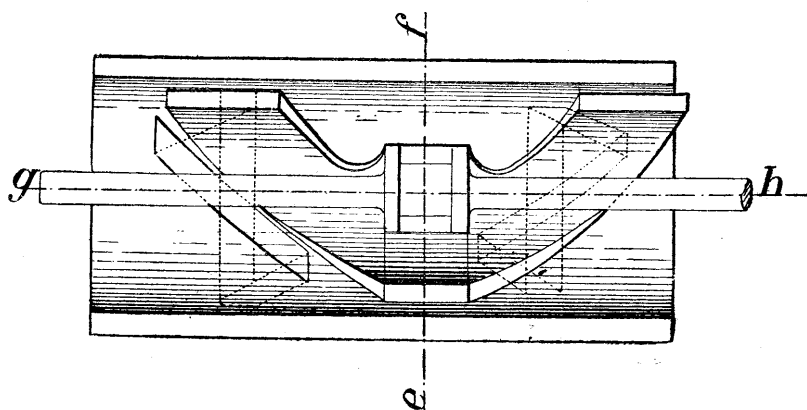
FIG. 5. — COUPE *gh*FIG. 6. — COUPE *ef*

FIG. 7. — PLAN

La distribution Meyer modifiée par Ryder pour la rendre plus facilement réglable par le régulateur, est assez répandue, on la trouve appliquée à la Société

alsacienne de constructions mécaniques et à plusieurs machines suisses, à la machine exposée par M. Albert, aux machines construites par M. C. Bourdon; nous en donnons le dessin, figure 5, 6, 7.

Dans certaines machines à grande vitesse on trouve des distributions spéciales telles que celles que nous décrirons pour la machine Armington et la machine Westinghouse à distributeurs cylindriques équilibrés et à mouvement alternatif; ces tiroirs cylindriques figurent dans un grand nombre de machines à grande vitesse, Oerlikon, Lecouteux et Garnier, etc., ou celle de la maison Mégy, à tiroir circulaire, à mouvement de rotation continu, comme le distributeur Biétrix, etc.

Au point de vue théorique nous pouvons signaler le beau travail de M. Dubost, ingénieur à la Compagnie de l'Est, sur le procédé destiné à obtenir une épure de distribution rigoureusement exacte, nous renvoyons à son intéressante communication faite au Congrès international de mécanique appliquée.

Au cours de ce travail nous donnerons le procédé Herlay, qui permet de faire l'épure d'une distribution par tiroirs avec plaque de détente, plus simplement que par le procédé de Zeuner, quoique dérivé de ce dernier dont l'emploi est maintenant à peu près général dans tous les bureaux d'études; nous signalerons aussi les travaux de M. l'ingénieur belge Cloeys, sur les tiroirs à plaques de détente.

Nous allons maintenant passer successivement en revue les types principaux des machines actuelles, dont la plus grande partie se trouvait dans le palais si remarquablement construit par mon collègue et ami M. Contamin; nous appuierons davantage sur les machines présentant quelque nouveauté. Mais nous devons signaler ici la perfection atteinte par les divers constructeurs dans l'exécution mécanique des pièces des machines exposées, et qui montre à quelle hauteur s'est élevé l'outillage dont dispose actuellement l'ingénieur-mécanicien.

MACHINES A TIROIRS ORDINAIRES

Machine à un seul cylindre de la société de l'Horme, à détente Bonjour.

(Planches 1-2).

Cette machine est caractérisée par une distribution robuste et simple, du système Bonjour, qui a pour but de donner encore un bon mode de distribution de la vapeur, tout en n'employant pas la complication inhérente aux machines à dédic. Cette distribution ayant fait l'objet d'une très intéressante communication

de M. Bonjour, au Congrès de mécanique appliquée, nous y renvoyons pour plus de détails.

Le tiroir de distribution est ordinaire et commandé par un excentrique ; puis dans ce tiroir, un autre petit tiroir circulaire équilibré qui s'y meut de façon à produire la détente.

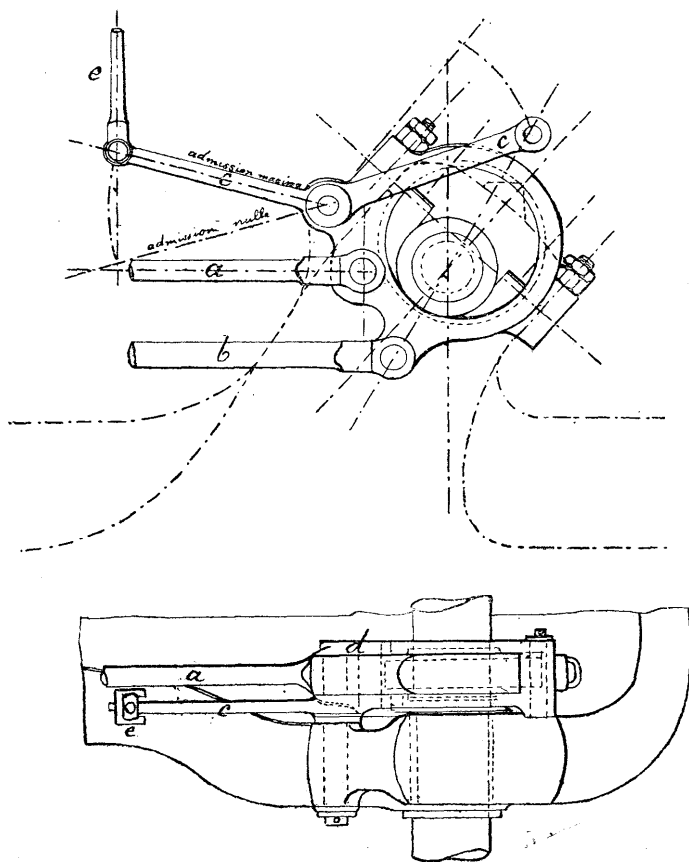


FIG. 8 ET 9. — DISTRIBUTION BONJOUR

C'est le même excentrique qui les commande tous deux, à l'aide des barres de commande *a* et *b* attachées en deux points différents de son collier.

Les variations de détente s'obtiennent à l'aide de deux leviers dont le mouvement combiné change l'orientation du collier de l'excentrique, sans influencer le mouvement du tiroir principal.

Un de ces leviers est relié à un régulateur qui commande les variations de détente.

Pour passer de l'admission nulle à l'admission maximum, l'oscillation du levier

c dit d'orientation, n'est que de 30°, et lorsque le régulateur est à sa position supérieure, les orifices du tiroir principal restant continuellement recouverts par le tiroir de détente, il n'y a plus d'admission.

Les glissières de cette machine sont à section circulaire. Le volant de la machine, en fonte d'une seule pièce, sert de poulie.

Le condenseur situé sur le côté est actionné par une bielle montée sur l'arbre moteur.

Cette distribution est simple et robuste et il est permis d'en espérer de très bons résultats.

- a.* — Bielle commandant le tiroir principal.
 - b.* — » » » de détente.
 - c.* — Levier d'orientation portant l'axe d'oscillation du levier de suspension D.
 - d.* — Levier de suspension.
 - e.* — Tringle du régulateur actionnant le levier d'orientation.
-

Machine de la Société de Gilly.

(Planches 3-4)

La machine exposée par la Société de Gilly, développe un travail de 75 chevaux. Le diamètre du cylindre est de 500 millimètres et la course de 800, elle marche à 70 tours par minute.

L'admission de vapeur se fait par une soupape ordinaire S équilibrée, à double siège ; le tiroir sert simplement pour régler l'échappement. Ce tiroir est mis en mouvement par une poulie excentrique et sa bielle. C'est sur cette bielle qu'est articulé le balancier communiquant le mouvement à la soupape. Ce dernier est composé d'une bielle et d'un levier, articulé à la partie supérieure du bâti du régulateur, de deux branches courbées B et B' de détente, qui suivent le susdit levier dans son mouvement de va-et-vient et butent par l'extrémité de leur plaque de toc (acier trempé) contre les leviers doubles, reliés à la soupape par une tige avec crossette variable.

Le régulateur R fait monter et descendre les deux boutons variables, qui arrêtent les branches courbées de détente, obligent celles-ci à se soulever ce qui forme le déclat.

Un cylindre à air placé sur la tige de la soupape, amortit la chute de celle-ci.

L'effort du régulateur étant pour ainsi dire nul, il s'ensuit de là qu'on obtient avec cette disposition une régularité parfaite.

La soupape S étant à double siège et sa section calculée pour avoir quelques

millimètres de levée, son fonctionnement est encore régulier pour les grandes vitesses.

Les glissières de cette machine sont à section circulaire. Le volant en fonte en deux morceaux, sert de poulie.

Cette machine est plutôt qu'un système spécial, l'adaptation d'une soupape aux machines ordinaires, car si on obtient la rapidité d'ouverture et de fermeture du déclat on conserve les espaces morts. Il est donc peu probable que cette machine donne en pratique des résultats supérieurs aux machines à tiroirs ordinaires.

Machine horizontale réversible de 3000 chevaux du Creusot.

(Planches 5-6)

Cette machine a deux cylindres horizontaux de 1^m,200 de diamètre et de 1^m,50 de course, elle est remarquable par sa puissance et sa simplicité.

L'admission est réglée à 0,75 de la course, pour permettre le démarrage dans toutes les positions, ce qui conduit à des dépenses de vapeur de 18 à 20 kilogrammes de houille par cheval et par heure ; malgré cette consommation élevée *le Creusot* a préféré établir cette machine à deux cylindres semblables et sans condensation, [que d'adopter soit une machine Compound, soit une machine à condensation, ce qui eût diminué dans une certaine mesure les qualités essentielles demandées à une telle machine : la docilité et la facilité de renversement.

Cette machine a ses *tiroirs cylindriques* et le changement de marche est constitué par une coulisse droite d'Allen actionnée par un servo-moteur hydraulique.

Une soupape équilibrée à double siège sur laquelle agit le machiniste, sert à régler la pression et la vitesse de la machine pendant le laminage.

Cette machine actionne un train de tolérerie destiné à la production des plaques de blindage avec des cylindres de 3 mètres de diamètre.

La machine marche à 75 tours.

Comme beaux résultats de laminage, on peut citer l'opération du 2 mai 1889, avec 4 kilogrammes correspondant aux diagrammes figure 10, qui donnent un travail de 3150 chevaux dans les cylindres ; on a laminé un lingot de 9500 kilogrammes, ayant 600 millimètres d'épaisseur en une plaque de 69 millimètres d'épaisseur, destinée à faire un blindage de pont de 2^m,745 \times 4^m,500 \times 0,069 en une seule chaude en 62 passages aux laminoirs qui ont duré 15 minutes.

Nous donnons ci-après le *calcul des diagrammes*.

Pression : 4 kilogrammes

pression par centimètre carré correspondant aux ordonnées moyennes

AV	2 k. 91
AR	2 k. 72

Pression totale sur le piston

AV	$2.91 \times 11078 = 32200$ kil.
AR	$2.72 \times 11272 = 30800$ kil.

$$T = \frac{(32200 + 30800) 1.5 \times 75}{60 \times 75} = 1575 \text{ chevaux.}$$

et pour les deux cylindres 3150 chevaux.

Diagramme AV-----
Diagramme AR-----

C'est également à ce train qu'ont été préparées les grandes tôles formant en même temps la poutre de résistance et la caisse des voitures à intercommunication de la Compagnie d'Orléans, dont un type figure à l'Exposition.

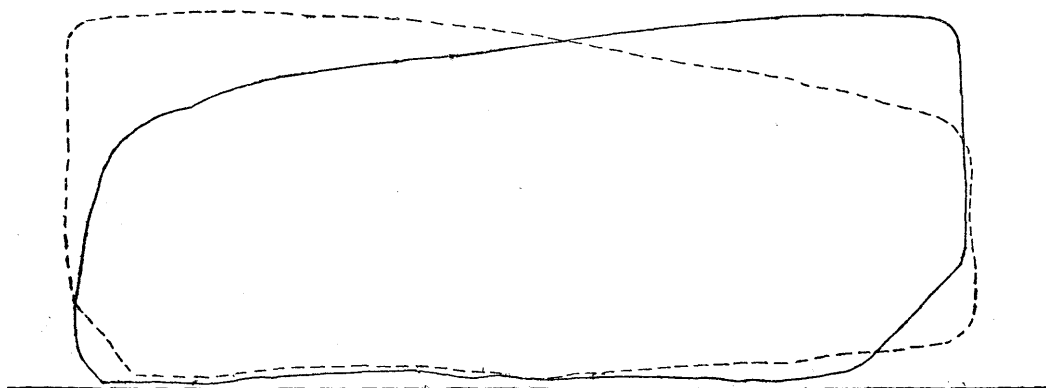


FIG. 10. — DIAGRAMMES PRIS SUR LA MACHINE RÉVERSIBLE
DE 300 CHEVAUX DU CREUSOT

Ces tôles présentaient de grandes difficultés de laminage, elles ont, étant finies, les dimensions suivantes :

Longueur	17 ^m ,050
Largeur	1 ,127
Epaisseur	0 ,005

On est parti d'une plaque préparée ayant $1.200 \times 1.400 \times 0,080$.

Le laminage a nécessité 21 passages.

Dès le 12^{me} passage les cylindres se touchaient, la flexion des cylindres et la compression des pièces qui les maintiennent, produisant seules l'écartement nécessaire au passage de la tôle.

En raison de la grande longueur de la tôle, la vitesse de rotation de la machine dut être portée à 100 et 110 tours et par suite la vitesse moyenne du piston à 5^m,250 par seconde.

Machines Burekhardt de Bâle actionnant des compresseurs d'air

(Planches 7-8).

Ces machines à cylindre unique sont montées sur le même bâti avec le cylindre compresseur d'air, qui est accolé au cylindre à vapeur ou bien au tandem. Le diamètre du cylindre est de 330 et la course 350. La distribution, variable par le régulateur, est du système Ryder.

Les glissières sont à section circulaire. Le volant-poulie est en deux morceaux.

Le graissage est assuré par les graisseurs Weiss.

Ces machines bien étudiées, compactes, sont fort bien exécutées.

Pompe Worthington

Ces machines sont caractérisées par l'absence de mouvement de rotation et d'excentrique pour conduire la distribution.

La machine type se compose de deux cylindres à vapeur accolés et situés face à face avec les cylindres des pompes. Chaque piston à vapeur a donc sa tige commune avec le cylindre à eau

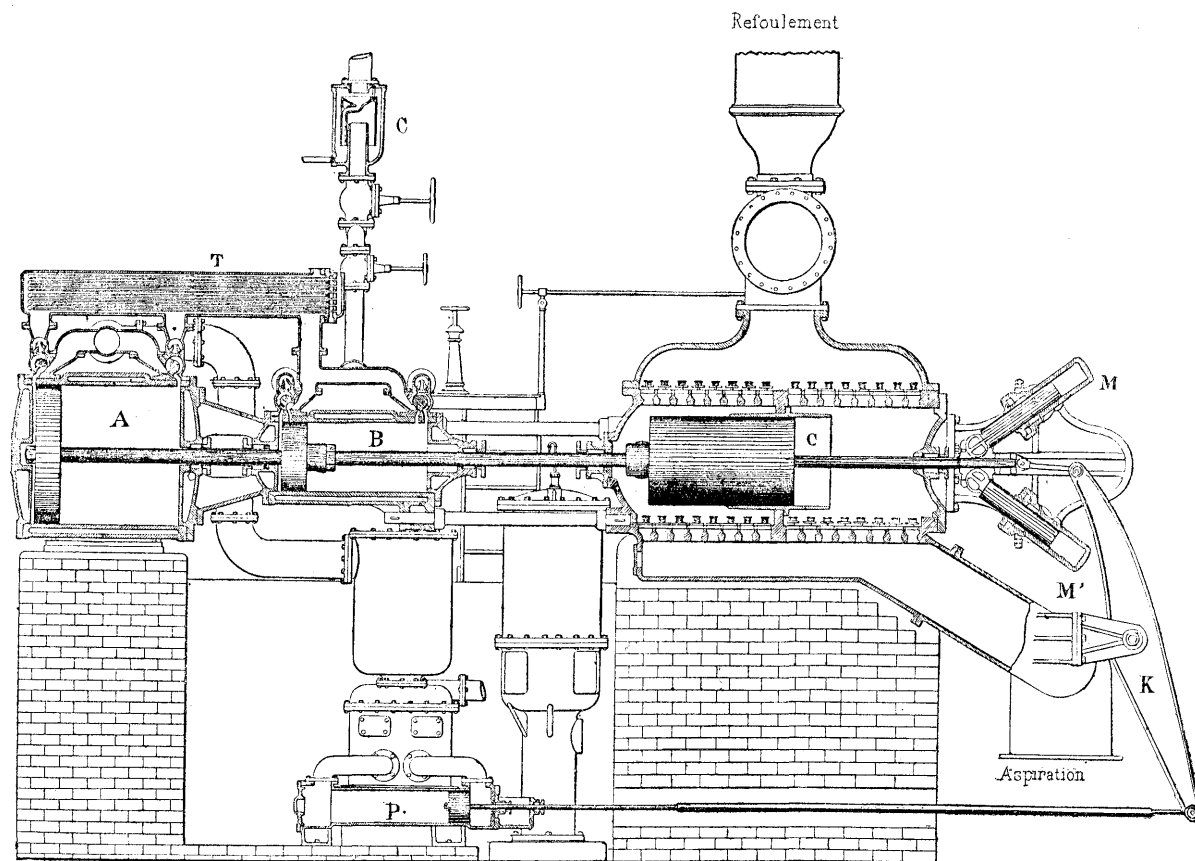


FIG. 11. — POMPE WORTHINGTON

A l'aide d'un double levier à équerre, la tige des pistons de droite actionne la distribution de gauche et réciproquement. De cette façon on démarre dans toutes les positions.

Ces pompes d'un usage très répandu en Amérique et en Angleterre donnent de bons résultats.

Ce sont deux pompes semblables de grand modèle qui montent l'eau au sommet de la Tour Eiffel, pour actionner l'ascenseur Edoux.

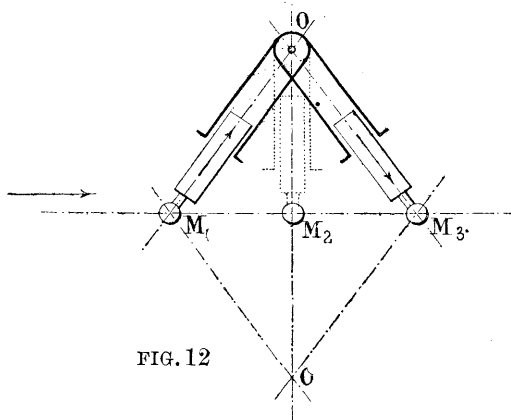


FIG. 12

Locomobiles

Les machines locomobiles forment le plus grand nombre des machines à tiroirs ordinaires.

Il faut citer toutes les maisons françaises qu'on retrouve au cours de ce travail qui construisent des locomobiles simples ou compound.

Nous citerons également la locomobile de 80 chevaux, de la maison belge Cail et Halot, qui pêche un peu par le manque de stabilité.

La locomobile de 8 chevaux, de la maison Piroult de Bruxelles dont la machine reposant sur la chaudière est fixée par un nombre de boulons très restreint.

Les locomobiles Gausset, etc., et les machines Davey et Paxmann, Aveling et Porter, en Angleterre, etc.

MACHINES A QUATRE DISTRIBUTEURS

Machine Corliss horizontale exposée par le Creusot

(Planches 9-10)

Cette magnifique machine, d'une exécution mécanique parfaite, développe un travail de 400 chevaux.

Elle est munie de la distribution Corliss de 1879, à plateau dit *araignée*, dont les bras actionnent les distributeurs à l'aide de quatre bielles.

La machine qui figure à l'Exposition est différente des nombreux exemplaires qui fonctionnent par ses dimensions plus grandes.

Diamètre du cylindre . . . 0^m,750.

Course du piston 1^m,400.

Les obturateurs d'échappement ont été abaissés par rapport à leur position primitive, de façon que ces obturateurs ne soient pas exposés à être rencontrés par le piston dans le cas d'une manœuvre du mécanisme de distribution à la main au moment du démarrage ; cette disposition augmente un peu, il est vrai, les espaces morts.

Cette machine a une enveloppe de vapeur d'une capacité plus étendue que celle des machines précédentes ; les pistons de rappel des obturateurs d'admission et la cataracte du régulateur sont placés au-dessus du sol. Le condenseur est en tandem.

Le régulateur employé est le régulateur à grande vitesse de Porter. Le degré d'isochronisme est donc augmenté et les variations de force vive radiale des boules et les oscillations qui en sont la conséquence ont été atténuées.

Le régulateur est en outre rendu plus sensible par la suppression de la came et son remplacement par un système de leviers, qui permet toujours d'obtenir l'arrêt de la machine en cas d'arrêt accidentel du régulateur.

Ces machines sont munies d'une pompe qui refoule dans la chaudière l'eau condensée dans les enveloppes et dans les tuyaux d'arrivée de vapeur. Les glissières sont à section triangulaire. Les patins sont à garniture de métal blanc. Le boulon de crosse est à graissage central.

D'après les nombreux essais faits sur ce type de machine, on peut compter sur une consommation de 7^k,500 de vapeur par cheval et par heure.

Au point de vue de l'exécution matérielle de cette machine, on peut la dire parfaite.

Machine Corliss verticale du Creusot

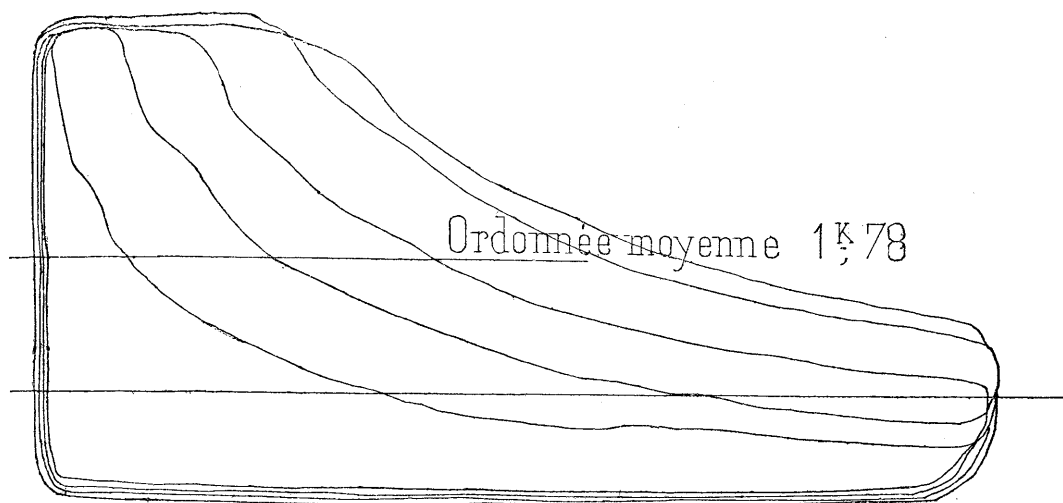
(Planches 11-12)

Cette machine est du *type Pilon* à un seul cylindre et à condensation.

Le système de distribution et de délié est le même que celui des machines horizontales. La pompe à air verticale est à simple effet et est commandée par un balancier relié à la tête du piston à vapeur.

Les quatre colonnes qui supportent le cylindre et qui reçoivent les glissières sont creuses et à section rectangulaire ; elles sont solidement fixées à la plaque de fondation qui porte le palier moteur ; elles sont en outre parfaitement reliées entre elles dans tous les sens et forment un tout extrêmement rigide.

A



B

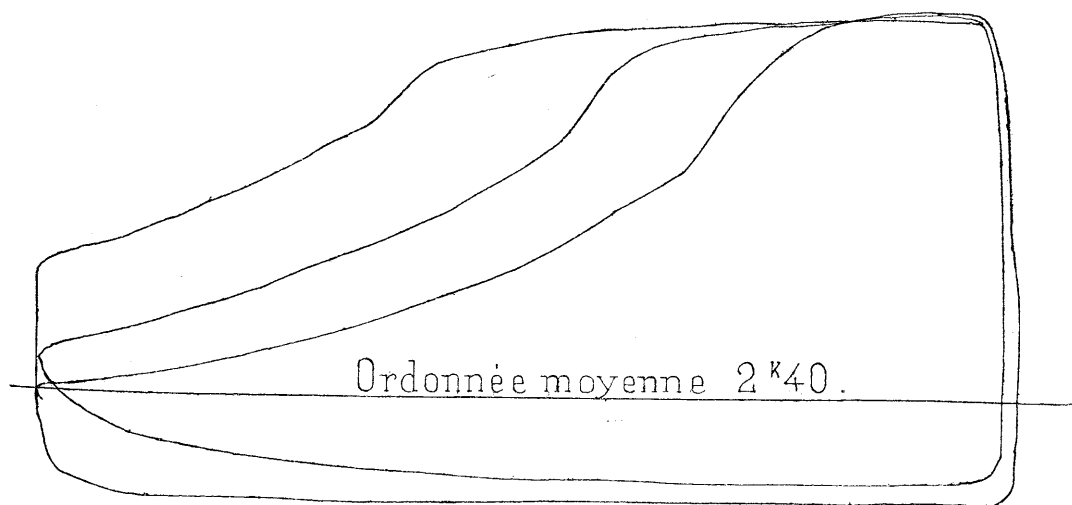


FIG. 13 ET 14. — DIAGRAMMES PRIS LE 7 MARS 1889
SUR LA MACHINE CORLISS VERTICALE DU CREUSOT.

A 70 tours par minute, cette machine développe 900 à 1000 chevaux, la vitesse du piston est de $3^m,730$ par seconde.

Ces machines présentent bien des avantages pour la conservation des cylindres, garnitures, tiges et au point de vue de l'emplacement, mais elles sont par contre d'un coût plus élevé à cause de l'importance très grande des bâtis et des plaques de fondation.

Le Creusot, l'usine de Fourchambault, de Dombrowa, possèdent ce type de machine qui pourrait être utile pour les stations centrales d'électricité.

Le diamètre du cylindre est de 1 mètre, la course du piston 1^m,600.

Cette machine est construite pour marcher de 3^k,500 à 4 kilogrammes.

Les diagrammes ci-dessus, relevés le 7 mars 1889, montrent quels efforts différents la machine a à vaincre pendant l'opération du laminage et aussi la façon régulière dont le régulateur modifie la période de pleine admission.

Machine Windsor mono-cylindre

(Planches 13-14)

La machine exposée par M. Windsor est du système horizontal, à un seul cylindre, à détente variable par le régulateur; elle fonctionne à haute pression avec échappement à air libre ou condensation.

Les organes de distribution de vapeur, employés dans cette machine, sont du même système que ceux de la machine à deux cylindres compound.

La forme du bâti et enfin tout l'ensemble de ce moteur se rapprochent aussi sensiblement de ce type que nous décrirons plus loin.

Le cylindre est également rapporté dans une enveloppe de circulation de vapeur, revêtue d'une enveloppe en bois garnie de calorifuge.

Cette machine est de 100 chevaux.

Diamètre du cylindre 0^m,457.

Course du piston 1 mètre.

Vitesse de régime 70 tours par minute.

Le volant de la machine est construit en deux pièces, il a un diamètre de 4^m,500 et porte 8 gorges pour transmettre la commande par câbles.

Les glissières sont à section circulaire. Le boulon de crosse est à graissage central. La bielle motrice est munie d'un graisseur pendule.

Machine Corliss de la Maison Lecouteux et Garnier

(Planches 15-16)

La machine motrice de 150 chevaux et les deux machines développant 500 chevaux à l'une des stations d'électricité du Champ de Mars sont du type Corliss,

modifié par MM. Lecouteux et Garnier, qui ont pu porter l'admission maximum aux 8/10 de la course du piston.

La machine de 150 chevaux fonctionne à 5 kilogrammes et tourne avec une vitesse de 65 tours à la minute, avec une introduction de 1/8; la machine est à condensation et la pompe à air à simple effet est placée à l'arrière du cylindre et conduite par le prolongement de la tige du piston. Le cylindre est en trois pièces, une enveloppe en deux parties et une chemise intérieure. Chaque partie de l'enveloppe renferme une boîte circulaire pour l'admission et une pour l'échappement comme Sulzer. La réunion de ces deux enveloppes se fait *au centre*, disposition spéciale, par deux brides tournées, rodées l'une sur l'autre et boulonnées après emmanchement à chaud de la chemise intérieure. La section des glissières est triangulaire et le jeu peut se rattraper sans démontage à l'aide de vis. La bielle motrice est munie du graisseur pendule Leneveu. Les graisseurs Chatel à gouttes visibles sont employés pour les obturateurs d'admission.

La distribution Corliss a été modifiée intelligemment par MM. Lecouteux et Garnier.

Pour un travail essentiellement variable comme celui d'un laminoir, d'une scierie ou même d'une station centrale d'électricité, le moteur est appelé à passer d'une force presque nulle à une force très grande; il a tendance au ralentissement. Le régulateur dont la course est avec raison relativement petite, s'abaisse brusquement et la vapeur est introduite en pure perte d'un bout à l'autre de la course du piston. La machine reprend une allure précipitée et le régulateur, revenant à sa position primitive, donne lieu pendant quelques instants à un balancement fort désagréable, très dangereux, provenant de la disproportion entre la puissance et la résistance. Pour remédier à cet inconvénient il fallait donc chercher un moyen d'éviter les sauts brusques d'introduction et de passer par tous les degrés de la détente proportionnellement à l'effet à vaincre; en un mot, il fallait augmenter l'élasticité de la machine.

C'est ce qu'a fait *Corliss* dans ses nouveaux types de 1880 et de 1885, et c'est le perfectionnement qui a été appliqué en 1883 à sa machine de 1868 par la maison Lecouteux et Garnier (fig. 6, 7 et 8).

La brimballe C est munie d'une troisième touche I, placée entre les deux autres, présentant à sa partie inférieure une contrepenne opposée à celle des palettes A. Ces palettes sont aussi munies d'un taquet E monté sur un axe de telle façon que, lorsque le porte-ressort se déplace dans le sens habituel où s'opère le déclenchement, ce taquet puisse osciller et s'effacer pour ainsi dire au contact de la touche I; puis, lorsque le porte-ressort revient en arrière, le taquet E se redresse et s'engage sous la touche I. On conçoit alors que, selon la position en hauteur de cette touche, le déclenchement puisse s'opérer dans le mouvement de retour du porte-ressort. C'est ce mouvement de retour qui a permis de porter

l'introduction de vapeur jusqu'aux $8/10^{\circ}$ de la course du piston, en passant par tous les degrés intermédiaires.

La distribution primitive de Corliss présentait un inconvénient : si, pour une cause quelconque le régulateur cessait de fonctionner et tombait au bas de sa course pendant la marche, la machine risquait de s'emporter et pouvait donner lieu à de graves accidents.

On a paré à ces risques en prolongeant les palettes de déclenchement en arrière de leur plan incliné par une autre pente A'.

La brimbalte étant munie de deux talons B, placés à l'opposé des touches de déclenchement par rapport à son axe d'oscillation, bascule sous l'action du régulateur qui touche à fond de course et vient appuyer sur les contrepentes A' des palettes ; celles-ci, se trouvant soulevées, ne peuvent plus entrer en contact avec les pièces de commande des tiroirs qui restent alors fermés, et la machine s'arrête d'elle-même.

Les grands ressorts plats de Corliss pour la fermeture rapide des tiroirs d'admission ont été gardés de préférence aux tiroirs à air et à vapeur.

Voici le résumé des essais au frein de Prony et à l'indicateur de Watt faits à Romilly sur une machine Corliss de 80 chevaux, construite par MM. Lecouteux et Garnier.

Durée de l'expérience	8 heures.
Nombre de tours par minute	50
Pression dans la chaudière	5 k. 85
— à l'admission	5 k. 35
— au condenseur en millimètres de mercure	50 m/m
Température de l'eau à la sortie du condenseur . .	25°
Degré d'admission	1/12°
Travail par seconde pour les deux faces du piston	95 ch. 78
Travail sur l'arbre	80 ch. 9
Rendement	84,60 %
Nombre de diagrammes relevés	78
Volume de vapeur vaporisé en huit heures . . .	4695 litres
Température moyenne de l'eau d'alimentation . .	15°
Consommation moyenne de vapeur par cheval indi-	
qué et par heure	6 k. 127
Consommation par cheval sur l'arbre	7 k. 254

Cette machine est robuste et doit être d'un emploi très pratique.

Machine à balancier oscillant de MM. Fourlinnie et Casse

(Planche 17)

Cette machine a été construite dans le but de supprimer le parallélogramme de Watt, et d'avoir ainsi une attaque directe du balancier par la tige du piston.

Ce système a l'avantage de réduire la hauteur de la machine.

La machine exposée au Champ de Mars est double jumelle avec manivelles à 90°; les cylindres verticaux sont reliés très solidement au bâti, et leur distribution est à dé clic, mais avec tiroirs plans. Le condenseur est dans le sous-sol.

Ces cylindres sont à enveloppe de vapeur vive; l'enveloppe peut recevoir la vapeur à 1/2 kilogramme de plus que l'admission, de sorte qu'on peut graisser avant la mise en marche avec un graisseur continu à condensation, ce qui est assez avantageux; ce graisseur étant en communication avec l'enveloppe qui reçoit la vapeur à l'avance, on évite ainsi les condensations habituelles de la mise en marche.

Les dimensions principales sont :

Diamètre des cylindres	0 ^m ,630
Course	1 ^m ,360
Vitesse de rotation	52 tours.
Vitesse du piston	2,357
Lumières d'admission, 62 × 300	0 ^m 2,0136
Lumières d'échappement 70 × 310	0 ^m 2,0217
Diamètre du condenseur à double effet	0 ^m ,300
Course	1 ^m ,360

Le volant est en deux parties.

Nous devons signaler la disposition originale du régulateur à air de cette machine; on peut lui reprocher les défauts inhérents aux machines à balancier; les masses en mouvement sont encore plus considérables que dans les machines à balancier ordinaire, et, en résumé, cette machine est assez compliquée.

Machine à quatre distributeurs à soupapes
exposée par la Société de construction de la Meuse

(Planches 18-19)

Cette machine a son cylindre complètement entouré de vapeur, enveloppe et plateau d'avant et d'arrière, ainsi que les soupapes d'admission, comme on le voit par le dessin, planches 18-19. Elle développe un travail de 80 chevaux.

La vitesse du régulateur est variable, grâce à l'emploi d'embrayage à plateau de friction, et le système du régulateur permet d'augmenter ou de diminuer rapidement et facilement la vitesse de régime de la machine sans toucher à la distribution.

Le mécanisme de distribution est très léger.

Les pistons à air sont sur la tige même des soupapes. Cette machine a le système de lubrification Stopfer, à la graisse, et le boulon de crosse est à graissage central.

L'avance à l'échappement et la durée de compression sont réglées par le calage de l'excentrique et des leviers de commande. La durée d'admission et de détente est variable automatiquement par un régulateur à boules.

Nous joignons, figure, 15 et 16, page suivante, un dispositif employé par la Société de la Meuse, pour faire varier, à l'aide de la disposition très simple du plateau d'attaque, le degré de compression pour cylindre à basse pression.

Cette machine, grâce à sa grande vitesse, peut développer un travail de 80 chevaux pour lequel ses organes semblent peu robustes.

Machine de la Compagnie de Fives-Lille

(Planches 20 à 23)

Cette machine horizontale est à condensation, à quatre distributeurs et à tiroirs plans; elle a un cylindre de 0^m,550 de diamètre et de 1^m,100 de course.

Les principaux perfectionnements apportés à cette machine sont relatifs au mécanisme de distribution qui se compose de deux tiroirs à glace plane, spéciaux et à mouvement rectiligne, soustraits momentanément à l'action de l'excentrique de commande, et fermés brusquement au moyen de ressorts.

La commande de la distribution se fait par l'intermédiaire d'un arbre coudé placé transversalement au milieu du cylindre, et reposant par ses deux extrémités sur les supports à douille. Cet arbre reçoit un mouvement oscillatoire qui lui est transmis par l'extrémité de la barre d'excentrique de distribution, attelée à la partie coudée de l'arbre, entre les deux supports.

Les chariots des leviers de déclié sont entièrement guidés dans des glissières fixes. Ils sont actionnés par des bielles articulées symétriquement sur l'arbre de distribution.

La symétrie de ces pièces égalise les effets des dilatations auxquelles elles sont soumises.

Chaque tiroir d'admission est emboîté dans un cadre à douille assujéti sur la tige. Un petit ressort, fixé à l'extérieur du cadre, maintient le tiroir appliqué

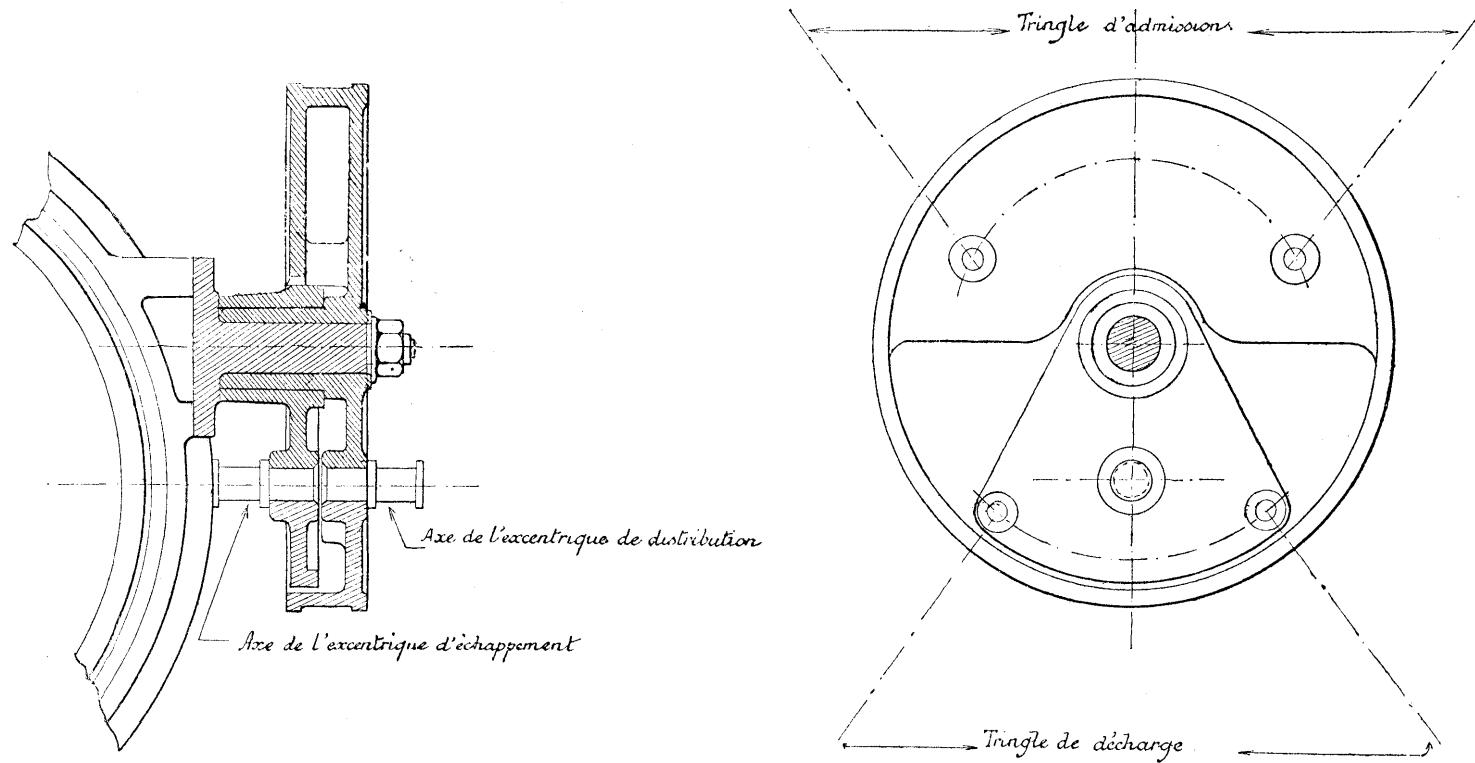


FIG. 15 ET 16. — MACHINES DE LA SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION DE LA MEUSE

sur sa glace. Les glaces des tiroirs sont aussi rapprochées que possible de l'axe du cylindre pour éviter les espaces nuisibles, et les lumières sont doubles, afin de réduire la course des tiroirs.

La poussée des tiges des tiroirs d'admission se fait par des talons à déclié armés d'une platine en acier trempé et placés à la partie supérieure des tiges. Les doigts de ces talons à déclié viennent, dans le mouvement de recul, buter sur leur chariot, et évitent ainsi un choc répété des talons sur les coulisseaux des tiges des tiroirs, en même temps que l'usure des platines. Le déclenchement des talons est commandé par le régulateur.

Le rappel des tiroirs est obtenu au moyen d'un piston à air constamment poussé de l'extérieur à l'intérieur par un ressort en spirale, dont on peut faire varier la tension en vissant ou dévissant le fond de la boîte qui le contient.

Chaque coulisseau de tige de tiroir porte deux prolongements à crochets destinés à ramener le tiroir à sa position de départ, dans le cas où, accidentellement, le ressort ne l'aurait pas conduit à fond de course.

Les tiroirs d'échappement, disposés de façon à éviter les espaces nuisibles, sont placés à la partie inférieure des cylindres, ce qui permet d'obtenir une purge complète des vapeurs condensées.

Ces tiroirs peuvent être commandés par un excentrique spécial ou par une came fixée à la tête de piston.

Le tuyau, réunissant les boîtes à tiroir d'échappement, est muni d'un joint de dilatation.

L'épure (figures 22-23) permet de voir les diverses phases de la distribution.

Les glissières sont planes, et la crosse est munie de coins de rattrapage.

Le graissage est assuré par des graisseurs Degremont, et le cylindre est muni d'un oléomètre Bourdon.

Le mouvement du condenseur est pris sur un boulon placé en arrière de la tête de bielle motrice.

Cette machine est fort bien construite. Le mécanisme de distribution nous semble un peu compliqué, et on peut se demander si les avantages des tiroirs plans, par rapport aux obturateurs tournants, le justifient.

Machine Farcot à quatre distributeurs à volant de 10 mètres

(Planches 24 à 29)

Ce magnifique spécimen de construction mécanique peut développer un travail de 500 à 1300 chevaux.

La machine horizontale à condensation a un cylindre de 900 millimètres de diamètre.

Le bâti à baïonnette, d'une seule pièce, pèse 19 000 kilogrammes. Les glissières sont cylindriques, et la crosse du piston est à rattrapage de jeu, grâce à un collier conique, qu'on peut serrer plus ou moins, et qui est placé entre la crosse et le patin.

La machine est lubrifiée à l'aide de graisseurs à gouttes.

Le volant peut être mis en mouvement, avant le démarrage, et dans le but de faciliter celui-ci, à l'aide d'un treuil agissant sur une couronne dentée dont le volant est muni. L'embrayage est produit par le poids du corps de l'homme qui fait la manœuvre.

Le cylindre est entouré d'une enveloppe où circule la vapeur avant d'entrer dans les cylindres. Les robinets d'admission étant dans les fonds, on a là aussi des surfaces à l'abri du refroidissement. L'enveloppe est rapportée. Le régulateur employé est du type Farcot, à bras et bielles croisés, aujourd'hui universellement apprécié. Ce régulateur permet en outre de mettre en marche, aussi progressivement, et d'arrêter aussi vite qu'on le désire. L'arrêt s'effectue en enlevant à la main le régulateur, au moyen d'un volant à main spécial, ce qui supprime toute introduction. L'arrêt est donc immédiat, la vapeur contenue dans l'enveloppe et dans le fond se trouvant isolée du cylindre, ce qui n'a pas lieu pour les machines qu'on arrête en fermant le robinet de prise de vapeur.

La disposition actuelle, qui diffère pour les grandes admissions du type primitif de déclic Farcot, fonctionne ainsi, comme on le verra :

Le mouvement continu d'oscillation, imprimé par la barre d'excentrique *A* au plateau *b* (voir la vue d'ensemble), est transmis par la bielle *c* au levier *d* (voir les détails de la distribution pour tout ce qui va suivre). Le levier *d* est fou sur l'extrémité de l'axe du tiroir d'admission; il porte à sa partie inférieure la pédale d'enclenchement *F* constamment sollicitée vers l'axe du tiroir, au moyen d'un ressort intérieur.

Sur le même axe du tiroir est calée une manivelle *g* sur laquelle agit le ressort de fermeture, et dont le moyeu présente à côté du levier *D* un grain d'acier *h* correspondant au grain *j* de la pédale *F*. On comprend aisément que le tiroir se trouvera entraîné ou non dans le mouvement d'oscillation du levier *D*, suivant que les grains d'acier *h* et *j* seront en prise ou non l'un avec l'autre.

Pour faire cesser cet entraînement, à un moment donné il suffit de forcer la pédale *F* à s'écarter de l'axe du tiroir, en neutralisant l'action du ressort intérieur qui tend constamment à l'en rapprocher.

Ce déclenchement est produit par deux cames en acier, *K*, *K'*, placées à l'extrémité du support de la distribution et susceptibles de prendre diverses positions par les bielles *I* et *I'* (coupe *AB*) dépendant du régulateur. Les bossés excentrés de ces cames, marchant l'une vers l'autre, viennent se présenter plus ou moins tôt sous l'extrémité d'un appendice latéral au doigt *m* pour écarter cette pédale de l'axe du tiroir. La came *K* agit directement sur le doigt *m* pour

amener le déclenchement pendant l'aller du tiroir, c'est-à-dire, pour les petites introductions, jusque vers les $3,5/10$ de la course du piston, et la came K produit, au contraire, le déclenchement pendant le retour du tiroir, depuis $3,5/10$ environ jusqu'à $8/10$ de la course du piston, en agissant sur le doigt mobile intérieur n .

Lors de l'aller du tiroir, ce doigt mobile intérieur n disparaît dans m , poussé par un plan incliné latéral de la came K des grandes introductions; il évite ainsi la bosse de cette came, qui empêcherait l'action de la première came K; par suite de la position à elle imposée par le régulateur, c'est le doigt intérieur n qui, repoussé brusquement de sa loge par un ressort, vient se présenter derrière la bosse de la came K pour déclencher à son tour, plus ou moins tôt, aux grandes introductions.

Les deux doigts m et n sont, comme les cames elles-mêmes, en acier d'excellente qualité, ce qui assure leur durée. Ils peuvent être remplacés très rapidement et à peu de frais, après plusieurs années de fonctionnement si besoin en est.

Un des principaux avantages de cette distribution sur celle exposée en 1878, résulte de ce que l'organe de déclenchement qui agit pour les grandes introductions ne fonctionne pas constamment. Il n'est mis en mouvement que lorsque la première came, celle des petites introductions, n'a pas suffi pour déclencher, de sorte que, dans la marche ordinaire et habituelle, le doigt intérieur n se transporte librement dans l'espace sans subir ou produire aucun frottement sur la bosse ou sur le flanc de la came K.

Un autre avantage de la disposition actuelle, plus important encore, résulte de ce fait que les efforts perturbateurs transmis sur le pendule par le dédic sont réduits, au minimum, les bosses des cames étant constituées à très faible pente de façon à neutraliser au moins en grande partie, ces efforts par le simple frottement des cames autour du support sur lequel elles jouent.

Cette machine permet l'introduction jusqu'aux $8/10$ de la course. La disposition spéciale de l'une des cames empêche tout emportement de la machine en cas d'accident au régulateur. Car, en admettant que pour une cause quelconque, le régulateur s'arrête et tombe en bas de sa course, la machine au lieu de s'emporter s'arrête par la suppression d'introduction et prévient ainsi son conducteur; c'est là un résultat utile dans tous les cas et d'une importance capitale dans les applications aux éclairages électriques industriels; car une machine dynamo-électrique peut être détériorée en quelques instants si sa vitesse devient excessive par suite de l'emportement du moteur qui l'actionne.

Les conditions que M. Farcot s'est imposé dans cette distribution ont été réalisées avec un très petit nombre d'organes compacts, simples et robustes.

Les axes et manetons sont emmanchés à la presse hydraulique et l'étanchéité des garnitures des tiges des tiroirs est obtenue sans presse-étoupes par l'application de la tige en acier sur l'extrémité de la douille en bronze qui la supporte.

Le palier principal de la machine a été étudié spécialement en vue d'éviter les inconvénients des coussinets latéraux à guidage rectiligne. Ceux-ci, en effet, quel que soit leur bon fonctionnement au début, cessent d'être en contact avec l'arbre sur toute leur surface, quand celui-ci s'est déplacé verticalement par suite de l'usure même légère du coussinet inférieur.

Le serrage des coussinets latéraux a alors pour effet de les appliquer sur l'arbre à leur partie inférieure, mais il reste toujours à leur partie supérieure, un jeu qu'on ne peut racheter.

Dans le palier que nous décrivons (voir la coupe) les coquilles en bronze A des des coussinets latéraux portent sur leurs guides horizontaux, par les deux faces diamétralement opposées d'un cylindre dont le diamètre est égal à l'écartement des guides.

Une cale très rigide en acier B transmet aux coussinets la pression des vis de réglage *v*. — La cale *c* pouvant glisser librement sur le coussinet A, celui-ci s'incline de lui-même sous l'action des vis, à mesure que l'arbre se déplace verticalement et sa face concave reste toujours en contact avec l'arbre sur toute son étendue. La cale *c* se déplace par rapport au coussinet et le suit dans son inclinaison, grâce aux têtes sphériques des vis de réglage.

Dans ses nouvelles machines, M. Farcot combine, pour le palier principal, cette disposition des coussinets avec le graissage automatique appliqué au palier de bout d'arbre de la machine que nous décrivons, et qui déverse sur l'arbre un courant continu d'huile de graissage.

Le volant de cette machine étudié avec grand soin, pour obtenir un maximum de légèreté sans rien perdre de la rigidité, se compose d'une jante mince en fonte nervée de 1^m,50 de largeur, pesant 21 000 kilogrammes et fondue d'un seul jet puis séparée en quatre morceaux. Les seize bras sont en tôle d'acier rivée, de section elliptique variable depuis le moyen octogonal qui les supporte jusqu'à la jante, et les tôles qui les composent sont faites chacune d'un seul coup de presse hydraulique ; ces bras rangés dans deux plans parallèles sont reliés deux par deux par un treillis léger empêchant toute flexion transversale.

Le graissage du cylindre, des boîtes à tiroir et des supports de leurs arbres est effectué à la fois, malgré les trois pressions différentes de ces points d'arrivée d'huile au moyen d'un seul oléomètre Bourdon à plusieurs tubes compte-gouttes ; ces trois graissages fonctionnent parfaitement sans se gêner l'un l'autre.

La tête de bielle de la grande machine est lubrifiée par le graisseur pendule Leneveu que nous avons déjà indiqué.

Toutes les matières sont de premier choix : les fontes, suivant des mélanges bien déterminés pour chaque emploi, sont essayées régulièrement et sortent toutes de la fonderie de l'usine Farcot, y compris le bâti pesant 19 000 kilogrammes d'un seul morceau. Toutes les pièces forgées sont en acier des premières qualités et de numéros de dureté appropriés à chaque fonction ; le manchon de

la manivelle et le tourillon de pied de bielle seuls ont été faits en fer de première qualité; en raison de la nature des efforts qu'ils supportent, ils sont cémentés et trempés, ce qui leur assure une grande dureté sans les rendre cassants; tous les axes et manetons sont trempés et rectifiés avec le plus grand soin; les coussinets et bagues d'articulations sont en bronze phosphoreux.

Cette machine peut développer, dans d'excellentes conditions de consommation 5^k,5, de 500 à 1000 chevaux. Elle peut en développer de 12 à 1300 au prix d'une consommation un peu plus grande par cheval, soit environ 7 kilogrammes d'après les essais faits par M. Farcot à l'usine de Saint Maur.

Il y a actuellement 15 machines de ce type en fonctionnement dont 5 en Égypte qui actionnent les fameuses pompes centrifuges de la Béhéra.

Machine Dyckhoff

(Planches 30-31)

Nous avons signalé une machine qui figure à l'exposition et qui a eu un succès de curiosité; c'est la machine Stoppani construite par M. Dyckhoff, de Bar-le-Duc.

Cette machine à cylindre unique est à deux distributeurs, seulement chacun servant à l'admission, à la détente, à l'échappement, et cela, combiné avec une distribution à déclie.

Nous devons pour rendre hommage à la vérité, dire qu'une machine nous paraissant absolument analogue, de 50 chevaux à deux distributeurs et à déclie Wheelock, a été construite et brevetée en 1885 par M. de Quillacq et qu'elle a fonctionné pendant un an aux ateliers d'Anzin, mais à cause de la pression agissant sur les distributeurs, cette machine était peu sensible au régulateur et nécessitait de puissants rappels pour la fermeture des distributeurs, aussi cette application a-t-elle été abandonnée. Nous joignons le dessin de cette machine.

Machine de la Société de Haine-Saint-Pierre (Système Hoyoïs)

Cette machine, par ses dispositions originales, mérite d'être signalée quoique nous ne puissions pas donner de renseignements sur sa valeur pratique.

C'est une machine horizontale à cylindre de 500 \times 1000 pouvant développer

un travail de 80 chevaux. Les organes d'admission sont deux soupapes placées au centre des plateaux des cylindres. Celle d'avant est donc concentrique à la tige de piston. Ces soupapes se meuvent dans deux boîtes à vapeur formant enveloppes des fonds de cylindre.

Le mouvement leur est donné par un système à déclié et est transmis par deux fortes pièces contournées symétriques, partant du milieu de la génératrice horizontale supérieure du cylindre pour aller se recourber et attaquer les deux tiges dont chaque soupape est munie.

L'échappement se fait par deux tiroirs à grille, situés à la partie inférieure du cylindre et commandés par la crosse du piston.

Nous signalerons enfin trois machines à quatre distributeurs, horizontales à un seul cylindre.

1° Machine à quatre distributeurs à déclié Zimmermann et Woldmann exposé par la maison Cail et Halot de Bruxelles. C'est une machine de 20 chevaux, bien construite. La transmission du mouvement du régulateur est un peu compliquée.

2° Machine C.-H. Brown, de la section américaine. Cette machine a une grande vitesse de piston. Elle est fort bien exécutée et son déclié, par cames, est très simple et fonctionne sans bruit.

3° Machine de la Société Verviétoise. Cette machine est la transformation de la machine précédemment construite par cette société avec obturateurs Corliss en machine avec tiroirs plats à l'admission.

Ce sont également des cames qui, dans cette machine, donnent le mouvement aux obturateurs.

Machine d'extraction exposée par la Société de Marcinelle et Couillet

Cette belle machine est la troisième de ce type acquise par les houillères de Stiring (Lorraine).

Elle se compose de deux machines horizontales jumelles qui peuvent développer 1200 chevaux et peuvent extraire le charbon jusqu'à 1000 mètres de profondeur.

Les dimensions des cylindres sont

1^m,060 de diamètre
1^m,600 de course

Ils sont munis de soupapes permettant de battre contre vapeur.

La distribution de vapeur se fait par 4 soupapes équilibrées, placées deux à deux dans des chapelles latérales au cylindre.

Les soupapes supérieures servent à l'admission, les autres à l'échappement.

Le mécanisme de distribution est dû à M. Lelory, ingénieur des ateliers de Couillet. Il est commandé par deux poulies d'excentriques communiquant, par l'intermédiaire d'une coulisse de changement de marche, un mouvement d'oscillation à un plateau central fixé au cylindre et portant les 4 bielles de commande des soupapes.

Le degré de détente dépend de la position du régulateur qui peut se régler à l'aide d'un appareil à contre-poids manœuvrable à volonté pour satisfaire à toutes les exigences des machines d'extraction.

Cette machine est un très beau spécimen de l'application des détentes perfectionnées aux machines d'extraction.

Machine de MM. Jean et Peyrusson, de Lille

(Planches 32-33)

Cette machine à un seul cylindre est très intéressante par la simplicité de son déclat qui peut s'agrafer par son propre poids, sans ressort, ce qui permet à cette machine d'arriver à 75 et 80 tours.

Les tiroirs d'admission sont plats et les tiroirs d'échappement sont également plans et à grille. Leur manœuvre est caractéristique : ils sont liés à une même tige portant en deux points déterminés deux leviers d'équerre munis de galets au-dessous des glissières ; la crosse de piston est munie d'une came d'attaque formée de deux parties inclinées symétriques par rapport à l'axe vertical de la crosse. Aux fins de course chaque face de la came vient attaquer le galet correspondant et manœuvre ainsi le tiroir d'échappement.

L'abaissement du galet ainsi produit le met en contact avec l'huile d'un godet, la came arrive d'abord tangentiellement au galet de sorte que ce fonctionnement se fait sans choc appréciable.

Cette machine, dont il existe un assez grand nombre d'exemplaires, a les dimensions suivantes :

Diamètre du cylindre.	0 ^m ,350
Course.	0 ^m ,900

Avec une pression de 5 kilogrammes à l'admission, cette machine développe 55 chevaux.

Le dé clic est mû par un arbre intermédiaire situé au-dessus des glissières qui sont planes.

La crosse attaque la pompe du condenseur à l'aide de bielles et d'un levier formé de deux flasques en tôle. Le condenseur est situé dans le sous-sol, au-dessous de la machine, entre le cylindre et le palier.

Cette machine est bien exécutée et fonctionne très régulièrement.

MACHINES WOOLF

Machine Woolf à balancier de M. Windsor

M. Windsor expose une machine verticale à balancier à deux cylindres « Woolf » dite compound, à détente variable par le régulateur et à condensation.

M. Windsor a apporté à ce système tous les perfectionnements possibles, en modifiant la distribution et en appliquant un appareil à détente variable par le régulateur au lieu du papillon; et de plus, on y a ajouté un nouveau tiroir distributeur, dit tiroir à compression pour le grand cylindre qui permet d'activer sensiblement la vitesse de ces moteurs et d'obtenir encore un rendement plus considérable.

La planche jointe donne le dessin de ce régulateur.

A. — Cylindre en bronze de l'appareil.

B. — Tuyau en cuivre mettant l'appareil en communication avec le vide du condenseur; un robinet est placé sur son parcours; à la partie inférieure du cylindre se trouve une grille percée de trous pour l'arrêt des corps étrangers en suspension dans l'eau; au-dessous de cette grille, l'on aperçoit l'orifice d'un tuyau en communication avec les eaux du condenseur.

E. — Piston sans garnitures ayant une tige creuse, laquelle porte dans la partie inférieure quatre orifices égaux et symétriquement placés en regard d'un tiroir circulaire maintenu par un étui en bronze.

À la tige creuse du piston est fixée, vers la partie supérieure, une traverse en bronze reliée à la traverse inférieure O au moyen de deux tringles verticales g, g, g, g^3 ; et servant de guide à la douille H.

H. — Douille creuse en bronze reliée à la tringle de commande du régulateur, ayant un mouvement rectiligne ; elle est guidée dans la traverse G par une clavette fixe, elle porte deux rainures en hélice. Dans ces rainures passe une goupille en acier à laquelle le mouvement vertical de la douille H imprime le mouvement de rotation.

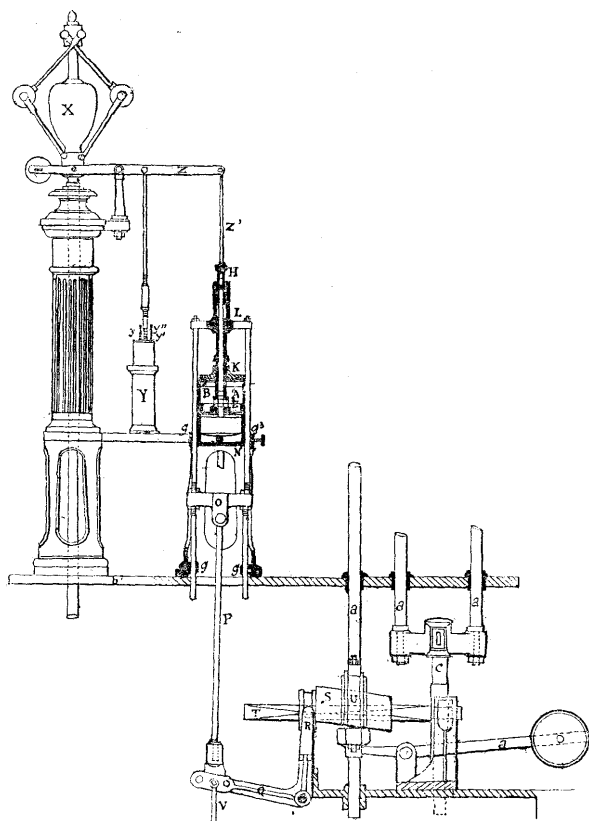


FIG. 17

K. — Plateau en bronze portant écrou pour joint.

L. — Ecrou à pans pour joints de la tige creuse du piston.

Dans le guidage g^3 passe une béquille pour arrêt de l'appareil à l'un des points de sa course.

N. — Socle en fonte portant l'appareil fixé sur la plaque de fondation.

O. — Traverse reliant l'appareil au levier Q au moyen de la bielle P.

P. — Bielle portant moufle de jonction avec taraudage pour faciliter le réglage.

Q. — Levier d'équerre commandant le coin.

R. — Collier fixé sur le coin S,

S. — Came ou coin en fonte à section rectangulaire pour la commande du tiroir de détente monté sur l'arbre T.

T. — Arbre de section rectangulaire excentré portant le coin S.

U. — Coussinet et cage du coin jonctionné à la tige de commande du tiroir de détente.

V. — Tige du contre-poids creux pour régler l'équilibre de l'appareil.

X. — Régulateur pendule conique à grande vitesse avec contre-poids et bras à fourche croisés dit régulateur Porter.

Y. — Contrôle du régulateur avec piston à huile et ressorts en hélice.

Y Y' Y'' — Petites vis de réglage appuyant sur une rondelle pour comprimer les ressorts du contrôle et le régler.

Z. — Levier à fourche portant collier en bronze et transmettant l'action du régulateur à l'appareil de détente par la tige Z'.

a. — Tige de commande du tiroir de détente.

a' a'. — Tiges de distribution.

b. — Plaque de fondation.

c. — Cage d'excentrique.

d. — Contre-poids équilibrant la tige du tiroir de détente.

Cet appareil à détente et le second tiroir sont simples, leur entretien est facile et ils ne se dérangent pas.

La machine de ce système exposée est de 120 chevaux ; elle a les dimensions suivantes :

Diamètre du grand cylindre	0 ^m ,740
Diamètre du petit cylindre	0 ^m ,390
Course du grand piston	1 ^m ,680
Course du petit piston	1 ^m ,2456

Vitesse de régime 36 tours par minute.

Le volant de cette machine est construit en deux pièces, il a 5^m,500 de diamètre et porte une jante pour la commande par une courroie de 0^m,650 de largeur.

Le balancier est soutenu par un grand beffroi à quatre colonnes supprimant le sommier, tout en présentant la solidité et la rigidité désirables. Cette disposition permet d'installer ce système de moteur dans des bâtiments ordinaires, sans aucune attache aux murs, ce qui réduit sensiblement les premiers frais d'installation.

D'autres perfectionnements ont aussi été introduits dans ces moteurs, tels que l'adoption de paliers graisseurs automatiques pour supporter l'arbre de volant afin de permettre de marcher à de grandes vitesses avec sécurité ; — une disposition spéciale pour la construction de la bielle motrice avec chapes et cuivres mobiles inférieurs permettant le débrayage de cette bielle sans démonter le maneton de manivelle.

Enfin la machine est parfaitement équilibrée et tous les principaux organes de mouvement sont construits en acier.

Les cylindres sont rapportés dans une enveloppe de circulation de vapeur et cette enveloppe elle-même est revêtue d'une enveloppe en bois cerclée en cuivre et garnie de calorifuge.

C'est un excellent type de machine à balancier, d'un emploi courant dans l'industrie et très bien exécuté.

Nous n'avons pas à signaler les avantages des machines de ce type, ils sont bien connus.

Machine soufflante verticale de Cockerill

Cette machine est d'un type bien connu, car le spécimen exposé est le 152^e construit.

La machine motrice située à la partie inférieure est une machine Woolf à condensation dont les pistons attaquent une même traverse qui va actionner le piston à air. Une bielle en retour de chaque côté va actionner un volant à droite et un volant à gauche de 7^m,240 de diamètre et pesant 18000 kilogrammes chacun.

Le diamètre des cylindres à vapeur est de 850 et 1200, soit un rapport de 1,99 entre les volumes. La course commune est de 2^m,440. La machine tournant à 15 tours développe 260 chevaux indiqués.

La distribution se fait par cames.

Ce type classique de machine soufflante est fort bien exécuté.

Machine Quérue!, construite par MM. Douane et Jobin

La machine motrice Quérue! construite par MM. Douane et Jobin est une machine Pilon à deux cylindres accolés et du fonctionnement Woolf à manivelles calées à 180°.

Le condenseur a sa pompe actionnée par un balancier prenant son mouvement sur la tige du grand cylindre.

Le bâti est bien établi, stable et cette machine de 150 chevaux à 3/10 d'admission à 6 kilogrammes occupe peu de place.

La poulie volant est en deux morceaux. L'arbre est en deux parties reliées par des plateaux boulonnés.

Les cylindres à vapeur, inégaux en diamètre et égaux en longueur, sont entourés d'une enveloppe de vapeur. Les deux cylindres sont séparés l'un de l'autre par une capacité où se meut le tiroir de transvasement ou tiroir intermédiaire qui est l'organe spécial de cette nouvelle machine. Le petit cylindre

porte sur sa face extérieure la boîte de distribution où se meut le tiroir d'admission initiale que nous devons décrire le premier.

Le tiroir initial est très simple ; il n'a pas, en effet, à commander et l'admission et l'échappement comme les autres tiroirs et, est, par ce fait, à l'abri de tous les inconvénients résultant de cette union désavantageuse. N'ayant à commander que l'admission, le calage de l'excentrique devient pour ainsi dire indifférent, d'où résulte l'avantage de pouvoir faire marcher le tiroir jusqu'à 75 et 80 pour 100 de la course, et, si ce tiroir porte une tuile du genre des tuiles Edwards, on peut l'arrêter par une butée fixe de manière à terminer l'admission à des points variant entre 0 et 70 % de la course. C'est ainsi qu'est cons-

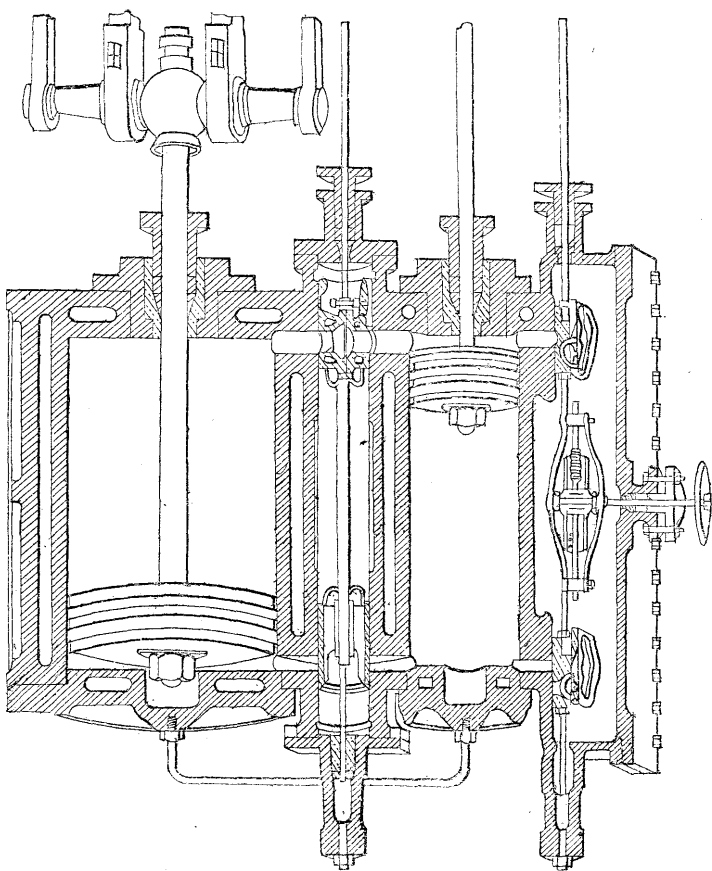


FIG. 18. -- MACHINE QUÉRUEL, CONSTRUITE PAR MM. DOUANE ET JOBN

truit le tiroir d'admission, et l'inspection des diagrammes du petit cylindre de cette machine montre que l'admission est réglée par lui dans des conditions presque théoriques. Il ouvre, dès le début de la course, l'orifice en grand, et la pression sur le piston est presque instantanément celle de la boîte à vapeur. Au

point de détente, le coupage de la vapeur est fait aussi nettement que possible. Le tiroir intermédiaire est l'organe principal de la machine Quérue! ; il est disposé de telle sorte qu'avec une force modérée absorbée pour son fonctionnement, il donne néanmoins une grande ouverture de passage pour la vapeur à écouler entre les deux cylindres. Les orifices des deux cylindres correspondants sont en face l'un de l'autre ; ils sont très grands par rapport à la section des pistons et aboutissent à deux glaces absolument parallèles. C'est entre ces deux glaces que glisse le tiroir intermédiaire qui porte en face de chaque orifice, une ouverture semblable à chacun d'eux.

Ces ouvertures sont reliées l'une à l'autre par un petit canal qui traverse de part en part le tiroir intermédiaire. Ce dernier est divisé en deux parties distinctes, s'appuyant chacune sur la glace du cylindre sur laquelle elle doit opérer. Ces deux moitiés marchent du reste comme un entier étant enfermées dans le même cadre et commandées par le même mouvement.

Pour régler la pression de chacune des deux parties du tiroir sur leur glace respective et empêcher toute fuite de vapeur, le joint de séparation des deux moitiés est constitué au milieu du canal par une sorte de soufflet métallique, à l'intérieur duquel agit la vapeur en pression.

On voit que la force qui fait appuyer les deux parties du tiroir sur les glaces des cylindres varie avec la pression de vapeur, c'est-à-dire directement avec la cause qui donne plus ou moins d'importance aux fuites.

C'est dans cette disposition ingénieuse que réside le principal intérêt de la machine. La commande du tiroir intermédiaire est donnée par un excentrique calé sensiblement à 90° des manivelles et commandant en même temps que le transvasement des cylindres l'échappement au condenseur. Les deux fonctions s'accordent ensemble dans les meilleures conditions. Les rapports des sections des orifices des cylindres à celles de leurs pistons respectifs sont :

Introduction du petit cylindre	1/16
Echappement du petit cylindre	1/8
Introduction et échappement du grand cylindre.	1/16

Ces orifices placés aux extrémités des cylindres sont en ligne droite et de petite longueur.

Cet arrangement présente le double avantage de ne donner aux espaces nuisibles qu'une faible capacité d'une part, et de présenter des passages courts et directs à la vapeur en circulation, ce qui n'en diminue pas d'une manière sensible la pression utile.

Plusieurs machines que nous décrivons plus loin, dans les machines à grande vitesse, appartiennent au type Woolf : la machine de la Société d'Oerlikon, la machine Brown, etc., avec manivelles à 180°, etc.

MACHINES COMPOUND

Machine compound de la Société Alsacienne de constructions mécaniques

(Planches 34-35)

Cette machine développe un travail de 250 chevaux à la vitesse de 75 tours par minute.

Les diamètres des cylindres sont de 400 à 600 millimètres avec une course de pistons commune de 1^m,200, ce qui donne un rapport de 2,25 entre les volumes des cylindres.

La distribution est du système *Frikart* de Lille. Cette distribution que nous retrouverons à d'autres machines est un perfectionnement de la détente Corliss, permettant des admissions de vapeur variables de 0 à 75 %.

L'excentrique est calé avec une avance de 30°, la barre va attaquer un levier intermédiaire qui sert à compléter la course d'un plateau oscillant autour d'un axe fixé sur le cylindre; ce plateau actionne les 4 distributeurs au moyen de bielles d'attache à réglage.

Les épures montrent que les orifices d'entrée et de sortie de la vapeur sont ouverts en plein pour une course du piston égale à 1/20 de la course totale.

L'axe de l'obturateur d'admission porte une came d'enclenchement, reliée par une bielle au piston de rappel.

Le levier B fait partie d'un collier tournant fou sur les guides des tiges d'obturateurs et est attaqué par la bielle du plateau de distribution.

Ce levier B porte en outre un cliquet F, placé dans le plan de la came.

Ce cliquet F est commandé lui-même et reçoit l'action du régulateur de la façon suivante :

Une bielle G, partant d'un tourillon H sur la barre excentrique, est reliée par les leviers J, K, et les bielles L, M, aux cliquets F; ceux-ci, commandés par les leviers L et par les bielles L et M, décrivent une courbe qui n'est jamais concentrique à l'axe de l'obturateur et permet par conséquent le déclenchement pour toutes les positions de la manivelle.

Le régulateur, relié par la bielle N au levier K, agit ainsi sur la courbe

décrite par l'arête du cliquet F, ce qui permet d'obtenir tous les degrés d'admission dans de bonnes conditions et avec un excentrique unique.

Cette machine a un cylindre à enveloppe de vapeur avec tube rapporté à chaud, sans mastic, ni bague.

La pompe à air, à double effet, située en-dessous de la machine, n'a que deux clapets de refoulement. Il n'y pas de clapets d'aspiration, la pompe à air est en communication directe avec le condenseur par une série d'ouvertures rectangulaires, pratiquées au milieu de sa longueur.

Le réservoir intermédiaire est placé entre les cylindres et est à enveloppe chauffée par la vapeur directe.

La machine est disposée de façon à pouvoir marcher avec ou sans condensation et avec le petit cylindre seul; l'échappement se fait dans ce cas directement au condenseur et sans passer par le grand cylindre.

Le condenseur est actionné par une bielle mise en mouvement par le boulon de crosse du piston du grand cylindre.

La poulie volant est en 2 morceaux et porte 8 gorges pour câbles.

Les glissières ont une forme semi-circulaire. On peut remarquer les grandes dimensions des paliers de cette machine dont l'exécution est irréprochable, et si la distribution Frikart tient ce qu'elle promet, cette machine est un des types à recommander.

Machine compound de la Maison Escher Wyss et C^{ie}, de Zurich

(Planches 36-37 et 36-37 bis)

Cette machine développe 150 chevaux à 80 tours avec des cylindres de 0^m,550 et 0^m,370, la course des pistons est de 0^m,800.

La distribution Frikart semblable à celle que nous venons de décrire est réglée avec assez de compression pour permettre la vitesse de 3 à 4 mètres pour le piston, vitesse qu'on n'obtenait pas avec les déclics employés précédemment. Cette distribution est moins compliquée que la distribution Corliss de 1879 et paraît devoir être recommandée.

Cette machine a un réservoir auxiliaire avec réchauffeur tubulaire à vapeur directe.

La vapeur du cylindre à haute pression, avant d'aller au cylindre à basse pression, passe dans un faisceau entouré de vapeur vive de la chaudière et elle s'y réchauffe, ce moyen a été recommandé par M. Hirn.

Les espaces morts de cette machine sont de 2 à 3 % du volume du cylindre qui est à enveloppe de vapeur et à tube rapporté.

Le condenseur de cette machine est en-dessous. Les glissières sont cylindriques et la poulie volant en deux morceaux porte 8 gorges pour les câbles.

Machine horizontale compound à deux cylindres superposés de la Société Alsacienne

(Planches 38-39)

La machine exposée par la Société alsacienne est de la force de 40 chevaux ses dimensions principales sont les suivantes :

Diamètres des cylindres : 175 sur 350 millimètres.

Course des pistons : 650 millimètres.

Vitesse : 90 tours à la minute.

Soit un rapport de 4 entre les volumes des cylindres.

Les deux cylindres à vapeur de cette machine sont pourvus chacun d'une chemise de vapeur. Le petit cylindre est placé obliquement sur le grand de telle sorte que les axes des deux cylindres passent par le centre de l'arbre moteur.

En projection horizontale, les axes sont déplacés de façon que les deux bielles motrices puissent passer l'une à côté de l'autre.

Les cylindres sont placés sur un fort bâti, portant, venu de fonte, le palier de l'arbre moteur. Chaque piston est guidé par un système de quatre glissières.

La distribution de vapeur est très simple :

Deux tiroirs superposés, système *Ryder* au petit cylindre et un seul tiroir au grand cylindre à fort recouvrement.

Le condenseur est vertical et conduit par une contre manivelle. Le volant est en deux parties.

Les avantages principaux de ce type de machines sont le faible emplacement qu'elles occupent et qui n'est pas supérieur à celui d'une machine à un cylindre, la simplicité de leur distribution, leur faible consommation de vapeur (environ 8 kilogrammes).

Le côté contestable de cette machine est la série d'engrenages pour la transmission du double mouvement de distribution. Il y a là une cause d'irrégularités dans le fonctionnement que la pratique viendra très probablement constater.

En résumé cette machine est très intéressante et mérite de la part des ingénieurs une étude attentive.

Machine à vapeur demi-fixe compound de 60 chevaux de la Société Alsacienne

(Planches 40-41)

Cette machine se compose de deux parties :

1° Le moteur à vapeur à deux cylindres placé à la partie inférieure sur un fort châssis en fonte.

2° La chaudière du type des chaudières de locomotives, posée sur ce châssis *et le chargeant* suffisamment pour qu'il soit inutile de le fixer sur le sol.

Ce châssis est néanmoins pourvu de trous de boulons de fondations pour le cas où l'on aurait à se servir de la machine sans sa chaudière.

Les dimensions principales de la machine exposée sont :

Surface de chauffe	foyer.	6,030
—	tubes.	37,300
—	totale	43,330
Surface de grille.		1,000
Diamètre du cylindre d'admission		0,260
— de détente.		0,400
Rapport des volumes		2,37
Course des pistons		0,500
Nombre de tours		135

Les deux cylindres à vapeur sont placés dans une caisse portant, venue de fonte, les deux boîtes à vapeur, les canaux d'entrée de communication et de sortie de vapeur. L'intervalle entre chaque cylindre et les parois de cette caisse forme chemise de vapeur.

Ces chemises sont chauffées par la vapeur à haute pression de la chaudière. Un tuyau spécial permet d'envoyer en outre de la vapeur directe au grand cylindre pour faciliter le démarrage.

Les pistons à vapeur, en fonte, sont pourvus chacun de deux segments élastiques. Les crosses de piston portent chacune deux patins guidés par un système de quatre glissières plates en acier. Les bielles motrices, à chape, sont pourvues d'un système de graissage à lècheur emportant à chaque coup de piston la goutte d'huile délivrée par des graisseurs à compte-gouttes dont on peut régler le débit à volonté.

L'arbre moteur en acier porte deux coudes à angles droits, deux poulies volants sont coulées aux deux extrémités de cet arbre, il est porté dans trois paliers venus de fonte au châssis formant bâti.

Les boîtes à vapeur sont placées extérieurement aux cylindres. Celle du petit cylindre renferme deux tiroirs superposés du système bien connu de Ryder. Les surfaces de contact des deux tiroirs sont cylindriques, de sorte qu'un simple déplacement du tiroir trapézoïdal de détente sur son axe, suffit pour faire varier l'admission de vapeur de 0 à 80 % de la course du piston.

Le grand cylindre n'a qu'un seul tiroir, à fort recouvrement, admettant la vapeur pendant 50 à 60 % de sa course et en même temps une forte compression et un échappement anticipé assez notable. Le régulateur très énergique agit par une disposition très simple sur le tiroir de détente, produisant un déplacement angulaire de ce dernier lorsque la charge vient à varier.

Ces machines se construisent souvent à condensation ; dans ce cas, la tige du

piston du grand cylindre sort à l'arrière et conduit le plongeur d'une pompe à air à simple effet placée en prolongement du cylindre.

Cette machine bien construite occupe peu de place tout en étant d'un accès très facile pour l'entretien et les réparations.

Machines à vapeur exposées par la Maison Biétrix

(Planches 42 à 45)

La Maison Biétrix construit sa première machine à distributeur rotatif en 1884, sa force était de 40 chevaux. Après de nombreux essais dans son atelier, elle a été vendue aux forges et aciéries de la marine et des chemins de fer montée à leur usine du Boucan, en juin 1884, où elle a toujours fonctionné. Depuis cette époque, toutes les machines à vapeur de 10 à 300 chevaux qui ont été construites sont à distributeur rotatif.

La machine motrice de la galerie des machines, à l'Exposition, est de 150 chevaux et marche à 110 tours; elle est compound à 2 cylindres accolés et à 2 distributeurs. La maison Biétrix construit actuellement ces machines avec un seul distributeur.

Cette machine a son condenseur en tandem sur le grand cylindre. Elle est munie du graisseur oléomètre Bourdon. Les glissières sont cylindriques, le boulon de crosse est à graissage central. Les plateaux manivelles sont ajustés et rivés. Il y a deux volants d'un seul morceau pouvant recevoir des courroies.

L'organe de distribution est unique, c'est un robinet muni d'ouvertures et de cloisons convenablement disposées, il est animé d'un mouvement de rotation uniforme et fait le même nombre de tours que l'arbre moteur. Il est légèrement conique pour pouvoir rattraper le jeu, et la vapeur le tient ainsi constamment appuyé contre une butée extérieure à réglage facile; il n'y a donc aucun frottement autre que celui des deux presse-étoupes traversés par l'arbre de faible diamètre portant le robinet et le frottement de la butée. Il est à remarquer que la pression de vapeur tend toujours à décoller le robinet dans lequel il tourne, c'est ce qui explique qu'il n'y ait pas de tendance au grippage. Après quelques jours de marche, le robinet a pris un peu de jeu, il faut serrer légèrement la butée jusqu'à ce qu'en faisant tourner le robinet à la main on éprouve une légère résistance; on répète cette opération deux ou trois fois et à partir de ce moment aucune usure appréciable ne se produit. Le robinet est commandé par deux roues

héliçoïdes de même diamètre, dont l'une est fixée sur l'arbre moteur et l'autre sur l'arbre du robinet prolongé. Le robinet porte, du côté de son plus petit diamètre, une partie cylindrique percée de deux petites fenêtres opposées, par lesquelles entre la vapeur ; sur cette partie cylindrique est emmanché, à frottement doux, un boisseau muni également de deux fenêtres opposées mais plus larges. On règle la distribution en modifiant l'orientation du boisseau soit à la main, soit par un régulateur.

Nous avons dit que la maison Biérix exposait un de ces distributeurs en bon état après quatre ans de service. Il est cependant à craindre qu'en cas de fuite de vapeur le métal ne vienne à se ronger assez rapidement.

Nous allons décrire la disposition toute particulière, permettant au régulateur d'agir sur le boisseau du robinet et par conséquent sur la détente ; elle est très intéressante :

A la partie centrale mobile d'un régulateur à force centrifuge sont fixés deux disques horizontaux AA, (pl.44-45), distants l'un de l'autre de 10 centimètres environ, tournant avec le régulateur et montant ou descendant suivant que la vitesse augmente ou diminue. Entre ces disques se trouve un galet B, vertical, garni de cuir, de 10 centimètres de diamètre, que les disques font tourner par frottement dans un sens ou dans l'autre, suivant qu'ils tendent à monter ou à descendre. Ce petit galet en tournant agit sur la détente. Cette disposition, jusqu'ici, ne présente rien de particulier ; elle a été souvent essayée et toujours promptement abandonnée ; les machines à vapeur munies de cet appareil, s'emballent, se ralentissent et ne cessent d'avoir des oscillations nombreuses. Il est nécessaire que le galet puisse monter et descendre et suivre le mouvement que le changement de vitesse tend à donner à la masse mobile du régulateur.

Le galet commande la vis C, par l'intermédiaire d'un petit pignon conduisant la roue en bronze D à denture intérieure qui, elle même, conduit la vis par l'intermédiaire de deux petits pignons d'angle. Le tout est porté par une boîte en bronze F reposant sur la tête de la vis, montant et descendant avec elle, mais que deux petits guides empêchent de tourner.

La vis s'engage dans l'écrou fixe G, et se prolonge par une tige qui traverse un presse-étoupes, pénètre dans la boîte de distribution et conduit le boisseau de détente H par la vis I : en L cette tige est interrompue, elle porte un petit manchon creux qui lui permet de monter et de descendre, tout en entraînant la vis dans son mouvement de rotation. C'est un mouvement mécanique analogue à celui de la commande Meyer, le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre : si la vitesse augmente, le régulateur tend à monter ; le disque inférieur vient toucher le galet et le fait tourner ; lui-même entraîne la vis, qui modifie la position du boisseau de détente ; mais la vis, en

tournant, monte, et avec, le galet qui prend la position convenant à la vitesse momentanée du régulateur.

Le calcul des divers organes est facile ; on se donne l'écart maximum de vitesse que l'on peut accepter, 2, 3, 4 % ; on en déduit la course du régulateur correspondant ; c'est généralement 2 à 3 centimètres. Il n'y a plus qu'à calculer le diamètre des divers organes et le pas de la vis, de façon que, lorsque la vis aura monté des 2 ou 3 centimètres prévus, le boisseau de détente ferme entièrement l'introduction.

La régularité, ainsi obtenue, est suffisante dans la plupart des cas, mais, lorsque les machines doivent conduire des dynamos pour l'éclairage électrique, on emploie un artifice qui permet d'augmenter l'introduction de la vapeur dans la machine, sans que sa marche se ralentisse en rien, car c'est lorsque la dynamo absorbe le plus de force qu'il convient de maintenir et même d'augmenter sa vitesse, si l'on veut que l'intensité de l'éclairage ne baisse pas. Pour cela, on peut relever à la main, par un écrou P, la vis portant le galet et tout l'appareil de réglage ; les boules du régulateur se trouvent ainsi écartées sans avoir diminué l'introduction ; cette addition n'est utile que pour la conduite d'éclairages électriques importants.

Quant au régulateur, il est à quatre boules ; chaque boule a la forme d'un galet circulaire évidé sur les trois quarts de sa surface, le dernier quart étant chargé de plomb, la partie évidée porte des dents qui engrènent avec une crémaillère circulaire creuse occupant le centre de l'appareil et tournant avec lui ; elle est elle-même portée par un arbre vertical fixe. Le tout est enfermé dans une boîte circulaire ; des nervures intérieures reçoivent les axes des quatre galets. Lorsque la vitesse augmente, les galets, sous l'action de la force centrifuge, tendent à tourner autour de leur axe : mais, comme ils engrènent avec la crémaillère centrale, ils soulèvent tout l'appareil, qui joue ce rôle de contre-poids.

Ces régulateurs sont très sensibles et très puissants.

Nous joignons le dessin de la machine motrice à deux distributeurs, le dessin de la machine compound à un distributeur et le dessin de la machine compound verticale à un distributeur, ainsi que celui de détail du régulateur et du distributeur.

Ce distributeur, simple et ingénieux, qui est connu depuis longtemps, montre après les divers succès dont il a été jadis l'objet, qu'avec de bons procédés de construction et des applications bien étudiées, on peut faire entrer bien des conceptions théoriques dans la pratique courante.

Nous donnons ci-dessous le tableau des résultats d'essais faits sur une machine demi-fixe compound en tandem, à distributeur rotatif, à haute pression sans condensation, installée à la manufacture nationale d'armes de Saint-Étienne, et dont les dimensions principales sont les suivantes (pl. 42-43) :

Diamètre des cylindres	200 m/m et	325 m/m
Course commune		500 «
Introduction variable par le régulateur	de 4 à	25 %
Pression d'admission		12 kilos
Rapport des volumes		2,64
Durée de l'essai	3 h.	4 h.
Eau totale injectée dans la chaudière	2 ^k ,135	3 ^k ,400
Charbon brut consommé	252 k.	400 k.
Cendres	14 k.	21 k.
Pression	12 k.	12 k.
Nombre de tours (moyenne du compteur)	128,5	128,5
Charge au frein (long. du levier 2 ^m ,500).	160	190
Chevaux effectifs sur l'arbre des volants	71,5	85,2
Eau consommée par cheval-heure effectif	9 ^k ,93	10 k.
» vaporisée par kil. de charbon brut	8 ^k ,46	8 ^k ,5
» » » » pur	8 ^k ,90	8 ^k ,96
Charbon brut consommé par cheval-heure effectif	1 ^k ,170	1 ^k ,175
Charbon pur consommé par cheval-heure effectif	1 ^k ,108	1 ^k ,110
Eau vaporisée par heure et m ² de surface de chauffe	11 ^k ,700	14 ^k ,200
Charbon brûlé par décimètre carré de surface de grille	0 ^k ,560	0 ^k ,666

Machine compound de 200 chevaux de la société des Anciens établissements Cail

Les conditions d'établissement sont :

Force en chevaux sur l'arbre	200
Pression absolue à l'introduction	7 kil.
Nombre de tours	100
Vitesse du piston	2 ^m ,333
Admission totale rapportée au cylindre à basse pression B. P	0,12
Diamètre du cylindre H. P.	0 ^m ,435
» » B. P.	0 ,700
Course des pistons	0 ,700
Surface du cylindre H. P.	1480 ^{cm} 2,20
» » B. P.	3848 ,50
Volume du cylindre H. P.	104 ^{dm} 3,034
» » B. P.	269 ^{dm} 3,395

Rapport des volumes.....	2 ,589
Admission au cylindre H. P.....	0 ,3107
Pression moyenne au cylindre H. P.....	2 ^k ,948
» finale » H. P.....	2 ,1749
» au réservoir.....	1 ,770
» totale sur le cylindre H. P.....	4381 kil.
Travail théorique sur le cylindre H. P.....	136 ch. 3076
Admission au cylindre B. P.....	0,3862
Pression moyenne au cylindre B. P.....	1 ^k ,1275
» finale ».....	0 ,683
» totale ».....	4339 ^k ,18
Travail théorique du cylindre B. P.....	134 ch. 99
» total ».....	271 ch. 30
Travail indiqué sur les pistons, $271,30 \times 0,97$.	263 ch.
Coefficient du travail indiqué $\frac{200}{263}$	0,76
Diamètre du volant.....	3 ^m ,00
Vitesse à la circonférence.....	15 ,708
Effort tangentiel pour une force de 200 chev..	954 ^k
Pompe à air à { Diamètre.....	0 ,450
simple effet { Course.....	0 ,350
Nombre de coups de piston par minute.....	100
Volume engendré par coup de piston.....	53 ⁴³ ,650
Régulateur, nombre de tours.....	225

L'ensemble de cette machine verticale est représenté, planches 46-47.

Les cylindres sont montés sur de fortes colonnes en fonte, entretoisées par des croisillons de même métal. Ces colonnes sont solidement fixées sur un socle en fonte portant les cages des paliers de l'arbre moteur.

Les cylindres sont fondus d'une seule pièce avec les enveloppes de vapeur, le réservoir intermédiaire et les boîtes à tiroirs.

La disposition donnée aux enveloppes de vapeur et au réservoir intermédiaire permet de réchauffer les deux cylindres, afin d'empêcher la condensation de la vapeur, surtout dans le cylindre à basse pression.

Pour chaque cylindre, deux paires de glissières en acier guident les têtes des pistons.

Ces glissières sont fixées aux cylindres par des pattes venues de fonte, et aux croisillons par des supports permettant un démontage facile. Ce sont ces supports *en fonte* pour les glissières qui me semblent constituer le point critique de cette machine.

L'arbre manivelle en acier porte, à l'une de ses extrémités, le volant en porte à faux, et de l'autre côté il commande le régulateur. Les manivelles sont munies de contre-poids équilibrant les pièces en mouvement. Le centre de gravité du système composé de l'arbre, de ses contre-poids et du volant tombe sur l'axe du palier d'extrémité qui a des dimensions telles que la pression par centimètre carré n'est pas supérieure à 10 kilogrammes.

Cette distribution, adoptée pour le petit cylindre, a pour but de donner aux orifices d'admission de grandes dimensions nécessaires pour les machines marchant à cette vitesse, tout en réduisant, le plus possible, les dimensions des tiroirs; d'équilibrer les tiroirs de détente afin de les rendre sensibles à l'action du régulateur; d'obtenir, dans une limite très étendue, les variations de puissance de la machine, tout en conservant la détente sous la dépendance du régulateur.

Ces dispositions sont les suivantes :

La vapeur, arrivant dans la boîte à tiroirs A (fig. 3, pl. 46-47), est distribuée par un ou plusieurs orifices *a a*, débouchant dans un conduit circulaire *b b*, pratiqué dans le tiroir de distribution B. Le conduit *b* amène la vapeur sur la glace du cylindre, la distribution se faisant soit par un tiroir plan ordinaire, soit par un tiroir cylindrique. La détente est obtenue à l'aide de tuileaux (¹) C cylindriques, à arêtes hélicoïdales, comme dans la distribution Ryder.

Ces tuileaux peuvent être animés, sous l'action du régulateur R, d'un mouvement de rotation décrit plus bas, et qui permet de découvrir les orifices *a a*, également hélicoïdaux, pendant une fraction plus ou moins grande de la course.

Afin de diminuer les dimensions des pièces, et la distance entre les axes des tiroirs et l'axe du cylindre, le tiroir de distribution est conduit par deux tiges latérales *c, c*, assemblées par une traverse *d* qui conduit l'excentrique de distribution.

La disposition du conduit circulaire *b*, dans lequel viennent déboucher sur le pourtour de la glace cylindrique deux ou plusieurs orifices, donne de très grandes sections de passage pour la vapeur, pour un diamètre relativement faible, et, par suite, les dimensions des tiroirs peuvent être assez petites pour de grands orifices.

On voit aussi que les tuileaux cylindriques, à arêtes hélicoïdales G, sont équilibrés, et qu'ils n'offrent aux mouvements de rotation et au mouvement rectiligne alternatif d'autre résistance que le frottement de leur surface extérieure sur la glace cylindrique du tiroir de distribution; ces tuileaux peuvent donc être facilement déplacés par l'action du régulateur.

Cette action est transmise à la tige *r*, sur laquelle sont calés les tuileaux, par un système de leviers et de bielle à joints articulés, d'ailleurs employés dans des machines semblables; mais le dispositif employé pour faire varier à la main les positions angulaires des tuileaux de descente est nouveau.

On remarquera d'abord que l'action automatique du régulateur sur les tuileaux est forcément limitée à un certain angle, qui, tout en permettant des variations d'admission étendues, ne suffirait pas cependant si la puissance

¹ Ces tuiles ou tuileaux sont des plaques de détente qui glissent sur le dos du tiroir d'admission.

de la machine devait varier dans des limites très grandes. — On a donc été amené à adopter plusieurs positions des tuileaux de détente, telles que pour la machine de 200 chevaux, par exemple: le régulateur exerce son action automatique par des admissions variant de 0 à $\frac{2}{10}$, ce qui correspondra à une puissance limitée à 40 chevaux, travail développé à l'Exposition par cette machine motrice; puis par un changement de position angulaire, l'admission pourra varier de $\frac{1}{10}$ à $\frac{5}{10}$ pour donner une plus grande puissance, l'admission pour la puissance normale de 200 chevaux à 100 tours étant de $\frac{3}{10}$ environ pour le cylindre à haute pression.

Pour obtenir ce résultat, la tige *r* (fig. 3), tourne à l'aide d'un levier *l*, muni d'un verrou *n*, qui s'enclenche dans les crans 1, 2, 3, pratiqués sur la douille du levier *o* commandé par le régulateur à l'aide de la bielle *S*.

Le levier *o* est fou sur la tige du tiroir, et le verrou *n* seul le rend solidaire de cette tige.

Le levier *l* étant au cran 2, par exemple, le levier *o* se trouvera enclenché, et la détente sera sous l'influence du régulateur pour des admissions variant de 0 à $\frac{2}{10}$, les positions respectives des tuileaux et des orifices ayant été réglées au préalable pour obtenir ces différentes admissions pour des positions angulaires variant dans les limites déterminées par le cran 2.

Pour la distribution du grand cylindre, on a adopté deux tiroirs plans ordinaires ayant double orifice d'admission et d'échappement, afin de diminuer la course de l'excentrique et d'augmenter les ouvertures des orifices, surtout au commencement de la course du piston.

Le prolongement de la tige du tiroir coulisse dans un guide carré qui l'empêche de tourner, et est commandé par l'excentrique à l'aide d'un tourillon placé sur le prolongement de la tige du piston.

Cette disposition permet d'augmenter la portée du palier afin de donner une surface suffisante pour un bon graissage.

Le régulateur isochrone est du système *Andrade*, et commande directement l'admission, comme nous venons de le voir; de plus, il permet de faire varier le nombre de tours de la machine par le simple déplacement de son contre-poids mobile.

Pour les deux cylindres, les orifices se trouvent placés aux extrémités, de façon à diminuer les espaces nuisibles.

Les pistons sont en acier creux avec segments maintenus par quatre ressorts.

Condensation. — L'échappement du cylindre à basse pression se fait dans un tuyau vertical en cuivre rouge qui aboutit au condenseur placé dans le bâti même de la machine.

L'injection d'eau froide se fait par deux tuyaux, l'un de petit diamètre, placé

verticalement au sommet du tuyau d'échappement, l'autre plus gros, horizontal, placé à la jonction de ce tuyau avec le bâti.

La pompe à air, à simple effet, reçoit son mouvement d'un balancier actionné par la tête du piston du petit cylindre; son piston plein se termine légèrement en pointe.

Les clapets multiples d'aspiration et de refoulement sont métalliques.

Le volant en fonte est en deux morceaux; la machine a son mouvement graissé par des godets à gouttes visibles, et les cylindres par un oléomètre.

Machines Davey, Paxman et C^{ie}

(Planches 48-49)

La maison Davey-Paxman a un type spécial de machine qui figure soit à son exposition particulière, soit à la station d'électricité Gramme.

La plus importante des machines de cette station que nous allons décrire est une machine couplée compound à bâti à baïonnette de 360 chevaux, chaque bâti venu de fonte d'une seule pièce forme glissière cylindrique et palier pour l'arbre intermédiaire et est boulonné au cylindre.

Les dimensions principales sont :

Diamètre du cylindre à haute pression . . .	0 ^m ,538
— — basse pression . . .	0 ^m ,889
Course commune	1 ^m ,220
Distance d'axe en axe	3 ^m ,354

Sur l'arbre intermédiaire sont placés deux volants ayant chacun un diamètre de 4^m,268 et 0^m,457 de largeur de jante, le poids de chacun de ces volants est de sept tonnes et demie. Avec une pression de 8 kilogrammes aux générateurs et à la vitesse moyenne de 65 tours par minute, cette machine développe une puissance sur l'arbre de 350 chevaux qui sont utilisés à entraîner deux dynamos Gramme de 240 volts et 900 ampères pour le service des fontaines lumineuses et des lustres centraux de la Galerie des machines.

Cette machine, ainsi que toutes les autres exposées par MM. Davey et Paxman, est munie du système de détente automatique et du régulateur variable de M. Paxman, spécialement appropriés aux services d'éclairages électriques, pour le bon fonctionnement desquels il est de toute nécessité que le moteur ait une vitesse rigoureusement constante sous des charges variables.

Il se compose d'un tiroir plan ordinaire, de distribution dont les lumières se représentent successivement à des conduits pratiqués dans un diaphragme sur lequel coulisse le tiroir de détente, celui-ci est relié à une coulisse suspendue par une bielle pendante aux leviers du régulateur et actionnée par deux excentriques. Les excentriques sont à courses inégales, celui du haut permettant une admission des $5/8$ de la course du piston, tandis que celui du bas coupe totalement la vapeur; de cette façon la durée de l'admission à chaque demi-révolution dépend de la position de la coulisse qui est commandée directement par le régulateur.

Les ouvertures dans le tuileau sont doubles, de la sorte la course du tiroir de détente est très réduite, ce qui augmente la sensibilité du système.

Ce dispositif a le grand avantage de permettre une admission variable de 0 à $5/8$ avec une avance constante.

On peut reprocher à ce dispositif d'employer trois excentriques, ce qui ne doit pas être sans inconvénients, non plus que la transmission du mouvement au régulateur qui se fait par une série d'engrenages.

Il y a en outre dans la station Gramme deux autres machines compound avec la détente que nous avons décrite au petit cylindre.

Les principales dimensions de la première sont :

Diamètre du cylindre HP.	0 ^m ,470
— — BP.	0 ^m ,724
Course commune.	0 ^m ,699
Rapport des volumes	2 ^m ,370

Les cylindres sont accolés et montés sur un bâti à poutrelle formé de plusieurs parties assemblées et boulonnées, ce qui est très avantageux pour le transport dans les pays éloignés.

La vitesse de cette machine est de 95 tours par minute et elle développe, avec 8 kilogrammes de pression aux générateurs, 250 chevaux absorbés par deux dynamos Gramme de 220 volts et 450 ampères qui alimentent les lampes à incandescence du Dôme central.

Les principales dimensions de la deuxième sont :

Diamètre du cylindre HP.	0 ^m ,324
— — BP.	0 ^m ,508
Rapport des volumes	2 ^m ,470
Course commune.	0 ^m ,610

Cette machine, avec 8 kilogrammes de pression et une vitesse de 105 tours, développe 125 chevaux utilisés par deux dynamos Gramme de 220 volts et 250 ampères qui alimentent 12 lampes des grands lustres de la Galerie des machines.

Nous donnons les résultats des essais suivants communiqués par la maison Davey et Paxman et faits sur une machine compound de 100 chevaux sans condensation.

Durée des essais	5 ^h 42'
Nombre de tours.	35550
Charbon brûlé	725 ^k
Poids de vapeur consommé par la machine. . .	6 833 ^k
Kilogrammètres indiqués.	173 millions.
Nombre de diagrammes indiqués.	68
Pression moyenne de la chaudière.	7 ^k ,520
Nombre de tours par minute (moyenne). . .	103,9
Chevaux indiqués au petit cylindre (moyenne).	55,3
— — grand — — — — —	55,7
Total.	111,0
Poids de vapeur consommé par cheval indiqué.	10 ^k ,8

Ces diverses machines ont leur mouvement lubrifié à la graisse. La vapeur est graissée à son arrivée au petit cylindre par un graisseur continu Paxman.

Machine compound tandem de M. Windsor

(Planches 48-49)

Cette machine est à détente variable par le régulateur et à condensation ; sa puissance est de 400 chevaux. Le grand cylindre est en tandem derrière le petit cylindre.

Les dimensions principales sont :

Cylindre HP, diamètre.	0,520
— BP, — — — — —	0,900
Course commune des pistons.	1,250
Rapport des volumes.	3
Tours du volant par minute.	60
Volant, diamètre.	5 ^m ,50
Poids du volant.	25 000 ^k

Ce volant porte 16 gorges pour transmettre la force par câbles. Le boulon de crosse est à graissage central ainsi que la bielle motrice, comme nous l'avons indiqué précédemment.

Cette machine se distingue particulièrement par sa distribution de vapeur qui consiste dans l'adoption de deux soupapes équilibrées à l'introduction et de deux tiroirs circulaires ou obturateurs pour l'échappement.

La particularité essentielle de cette distribution consiste dans le groupement du mécanisme de détente et du régulateur de telle sorte que l'action de ce dernier sur la détente se produit immédiatement.

Le mécanisme de distribution est du système Proell.

Le mécanisme de détente se compose d'un levier à deux bras ayant des mouvements d'oscillation dans la direction des deux flèches figurées sur la planche 48-49; ces déplacements, provoqués par l'action d'un excentrique calé sur l'arbre volant, ont lieu autour d'un arbre horizontal w supporté par la colonnette du régulateur; à ce levier sont articulés deux cliquets K_1, K^2 qui soulèvent de chaque côté, alternativement, les deux soupapes d'introduction par l'intermédiaire de deux leviers h_1 . L'extrémité de chaque cliquet repose sur une saillie que présente la fourche o , à cheval sur le bout de l'arbre w et fixée directement sur la tige du régulateur.

Par suite de la forme particulière et du mode d'attache des cliquets, l'extrémité du bec en acier par lequel ils actionnent les leviers h_1 , tend à décrire, pendant le mouvement d'oscillation, un arc de cercle. Si, par exemple, le cliquet de gauche agit de haut en bas, il ouvre la soupape jusqu'à ce que l'inclinaison de l'arc devienne assez grande pour que les extrémités garnies d'acier du cliquet et du levier h_1 , cessent d'être en contact; alors la soupape se referme sous l'action du ressort à boudin contenu dans *dash-pot*, un petit réservoir d'air. Le cliquet de droite, pendant ce temps, suit l'oscillation du levier de bas en haut sans exercer aucune action sur la soupape.

En montant ou en descendant sous l'action du régulateur, la fourche o produit entre les becs des cliquets et les extrémités des leviers de soupapes, un contact plus ou moins prolongé; par suite le dégagement de ces leviers se trouve avancé ou retardé. On obtient par cette disposition une action prompte et directe sur l'introduction de la vapeur dans le cylindre.

Une autre particularité de la forme spéciale des cliquets et de la manière dont ils fonctionnent vient non seulement de ce que leurs becs ont une large surface de contact, même pour les petites introductions, ce qui empêche une usure prématurée, mais aussi du très petit chemin que la pièce à fourche o doit parcourir pour faire varier considérablement l'introduction.

Dans les machines de puissance moyenne, cette course ne dépasse pas 15 millimètres. Il est donc possible de faire agir sur la détente un régulateur relativement petit avec une grande énergie; celui qui est employé dans cette machine est construit d'après le système Proell.

Comme on le voit sur la planche 48-49, la tige qui traverse la tige creuse du régulateur s'assemble au moyen de deux doubles écrous, avec une traverse t

actionnée par deux petits bras de leviers en retour d'équerre, ceux-ci appartiennent aux tiges de suspension supérieures des boules.

Si, par exemple, pour un changement de vitesse de 1/50 on a dans l'ensemble en forme d'urne constitué par les tiges de suspension, une force de 1 kilogramme le rapport adopté par les bras de leviers multiplie la force dans le rapport de 4 à 1, ce qui permet de disposer sur la tige de commande r de 4 kilogrammes; on a ainsi la possibilité de faire varier la détente d'une manière précise et prompte, sans être gêné par les frottements: de là dépend la grande régularité de marche observée dans ces machines.

L'action du coussin d'air est complétée par un ressort à boudin f légèrement tendu, sur lequel le piston q du réservoir d'air repose en dernier lieu, de telle sorte que la soupape, quelle que soit sa levée, retombe toujours doucement sur son siège, condition indispensable pour sa durée et la douceur de la marche de la machine.

Un écrou permet de régler la tension du ressort F.

Les organes de distribution à l'échappement de cette machine à vapeur consistent en des tiroirs circulaires, genre Corliss, placés au bas, sur le côté des cylindres et actionnés directement par un excentrique.

La position de ces tiroirs permet l'écoulement direct de l'eau de condensation et présente toutes les garanties de sécurité et de bon fonctionnement.

Les cylindres de ces machines sont rapportés dans des enveloppes de circulation de vapeur, condition essentielle pour le maintien de la température dans le cylindre et par suite pour la réalisation de la plus grande économie de combustible; de plus ces enveloppes en fonte sont elles-mêmes recouvertes par des enveloppes en bois cerclées en cuivre et garnies intérieurement de calorifuge.

Le condenseur de cette machine est du système vertical à deux corps présentant un système à double effet, il est placé en arrière du grand cylindre à vapeur, sous sol, et actionné par le prolongement de la tige du piston de ce cylindre au moyen d'un grand levier de balancier et guidé par une glissière spéciale.

Le bâti de la machine est du type nouveau genre Corliss, il fait corps avec le palier de la manivelle, la glissière de ce bâti est cylindrique.

Le volant de cette machine est construit en deux parties, il porte 16 gorges pour transmettre par câbles la puissance du moteur; une particularité à noter dans la construction de ce volant, c'est qu'il y a un système de garniture en bois entre les bras pour éviter le déplacement de l'air par ceux-ci et réduire par conséquent la résistance à sa force centrifuge.

Machines Chaligny et C^{ie}

(Planches 50 à 53)

La machine de la maison Chaligny et C^{ie}, est une machine compound de 55 à 80 chevaux.

La consommation de vapeur par heure et par force de cheval est de 8^k,200.

La consommation d'eau pour la condensation est par cheval et par heure de 180 litres.

Les dimensions principales sont :

Diamètre du cylindre H. P.	0,280
» » B. P.	0,485
Course des pistons	0,500
Rapport des volumes.	3

Admission variable à la main dans le petit cylindre de $\frac{1}{10}$ à $\frac{6}{10}$.

Admission fixe dans le grand cylindre $\frac{5}{10}$.

Le condenseur est actionné par la tige du grand cylindre. Les glissières sont cylindriques. La distribution permet de faire varier la détente à l'aide d'une coulisse, la manœuvre se fait à la main. Le tiroir employé est du système Trick ou à canal.

Cette machine fonctionne dans de très bonnes conditions. C'est un bon type courant simple.

La machine mi-fixe compound, sans condensation de 30 chevaux exposée, dépense 13^k,250 de vapeur par heure et par cheval. Par l'addition d'un condenseur semblable à celui que nous décrivons plus loin sa consommation descend à 10^k,300.

L'introduction peut varier de $\frac{1}{10}$ à $\frac{6}{10}$ pour les machines compound à condensation et de $\frac{1}{10}$ à $\frac{8}{10}$ pour les machines sans condensation.

Le régulateur de ces machines à masse centrale et à grande vitesse permet d'assurer la régularité de marche à 2 % près. Le patin de crosse est à rattrapage de jeu. La détente au grand cylindre est fixe. Cette machine est munie de deux poulies-volants, chacune en une pièce.

MM. Chaligny et Gayot-Sionnest ont construit un condenseur double à eau régénérée afin de pratiquer la condensation dans les machines à vapeur avec une quantité d'eau minime.

La vapeur d'échappement au sortir du cylindre de la machine est reçue dans un condenseur par mélange; l'eau chaude expulsée ou condensée par la pompe

à air est envoyée au réfrigérant ; c'est l'organe capital du système dans lequel l'eau tombe par le haut et traverse des fascinages en recevant l'action d'un ventilateur.

L'eau refroidie sert de nouveau à la condensation : au-dessus du condenseur par mélange est un condenseur par surface, l'eau de condensation déjà échauffée là, va en partie au réfrigérant et sert aussi à l'alimentation.

Le rapport présenté en 1888 par M. Hirsch à la Société d'encouragement donne le tableau suivant résultant d'expériences faites à la Compagnie de l'Est sur une machine mi-fixe compound de 30 chevaux environ.

	MARCHE	
	à échappement dans l'atmosphère	à condensation
Durée de l'expérience	9 h.	9 h.
Admission au cylindre de HP.	55 %	36,7 %
Puissance en chevaux indiqués	30,66	29,38
» » au frein	24,25	24,12
Consommation d'eau totale	3074 litres	1787 litres
» » par cheval-heure indiqué.	11,148 »	8,235
» » » au frein	14,1089 »	6,644
Consommation de houille totale	360 ^k	235 ^k
» » par cheval-heure indiqu.	1,294	0,869
» » » au frein	1,649	1,083
Vide		0,50
Pression d'air au réfrigérant		3 mm. d'eau
Température moyenne de l'eau extérieure	11°	10°
» de l'eau au sortir du condenseur		58 ,1
» de l'air extérieur		19 ,8
» de l'air au sortir du réfrigérant		38 ,5

Nous donnons planche 52-53, le dessin d'une machine mi-fixe compound de 15 chevaux construite par la maison Chaligny et C^{ie}.

Société anonyme du Phénix, de Gand

(Planches 54-55)

La Société anonyme du Phénix expose une fort belle machine compound de 400 chevaux à deux cylindres horizontaux situés parallèlement de chaque côté du volant.

Cette machine n'a qu'une glissière et est munie d'une distribution spéciale de M. Hertay, ingénieur en chef de cette société.

M. Hertay attribue le bon résultat économique des machines à quatre distributeurs à la diminution de l'espace nuisible, à la vitesse du piston ; mais pour lui la fermeture rapide des obturateurs n'a qu'une influence secondaire, c'est-à-dire que le laminage de la vapeur n'est pas aussi nuisible qu'on le croit, il s'appuie sur l'avis de MM. Hirn et Marcel Desprez et de nombre de praticiens qui pensent qu'en effet, et surtout en cas de vapeur chargée d'eau entraînée, le laminage n'est pas une mauvaise chose.

La machine de M. Hertay est réglée avec une certaine compression qui permet de réchauffer les fonds de cylindres, de diminuer les forces d'inertie à fond de course et par conséquent d'aborder d'assez grandes vitesses de piston.

Dans le système *Hertay* la distribution est produite par un tiroir principal partagé en deux T.T (voir la coupe par l'axe du cylindre, pl. 54-55) qui reçoit d'un excentrique un mouvement invariable.

Chacune des parties TT de ce tiroir, présente un canal pour l'admission et un canal pour l'échappement mis en relation en temps opportun avec le conduit d'échappement du cylindre vers le condenseur.

Sur le dos du tiroir principal, se meut un tiroir ou glissière de détente g, g , dont le mouvement participe en partie du mouvement du tiroir principal et en partie de celui d'un excentrique de détente.

A cet effet la barre B de l'excentrique de détente commande une pièce qu'en raison de ses fonctions on a appelée bloc distributeur. Le bloc distributeur affecte différentes formes ; pour les besoins de cette description, il est suffisamment représenté sur le détail du tiroir.

C'est une pièce évidée qui reçoit son mouvement de la barre d'excentrique par l'intermédiaire d'un système de renvoi et des deux tourillons pp ; dans certains types de machines elle est commandée directement.

Les deux extrémités du bloc sont façonnées en forme de douilles et reçoivent les tiges qui communiquent les mouvements aux tasseaux de détente. Ces tiges sont clavetées dans des taquets t, t dont la face extérieure est droite et dont la face intérieure présente une certaine inclinaison ; entre les faces internes peut jouer un coin qui accomplit dans tout ce qui va suivre un rôle important. Ce coin guidé dans des rainures ménagées dans les faces du bloc ou bien de toute autre manière sera d'abord supposé au fond de sa course comme ce qui est représenté en trait plein.

M. Hertay emploie pour l'étude de son tiroir, une méthode dérivée de l'épure de Zeuner et permettant d'établir d'une façon simple l'étude générale d'un tiroir de détente à plaque superposée mobile par un excentrique.

La manivelle étant dans une position quelconque oM , le centre de l'excentrique du tiroir en E, celui de l'excentrique de détente en E', le tiroir est reporté

à gauche de sa position moyenne de oe , le centre du bloc distributeur est distant de sa position moyenne de oe' . Ainsi le tiroir est en retard sur les tasseaux de détente de la quantité $oe' - oe = ee'$, or ee' est la projection de la ligne. EE' qui joint les deux centres, on peut l'obtenir en menant oE égale et parallèle à $E'E_1$; oE_1 est l'excentrique fictif qui résulterait de la composition de oE avec un excentrique égal et opposé à oE' ; sa projection $oe = e'e$ donne toujours l'écart relatif du centre du tiroir relativement au centre du bloc ou des tasseaux de détente.

On sait que les écarts du tiroir principal sont donnés par les rayons vecteurs du cercle de diamètre oE_1 ceux du centre du bloc distributeur seraient donnés par le cercle tracé avec un diamètre oE' . α et α' sont les angles d'avance portés à partir de M , en sens contraire du mouvement. Le cercle des écarts relatifs des centres s'obtiendra en prenant son diamètre oE_1 suivant la résultante de oE et de oE' , égal et opposé à oE_1 , d'après ce qui a été dit plus haut.

On peut tracer pour suivre un tour de manivelle le deuxième cercle oE_2 . Pour obtenir la position relative des centres pour la position M du bouton de manivelle, on trouve que le tiroir est en retard sur les tasseaux de la quantité oe_1 au point mort M_0 ce retard est oe_1 .

Pour savoir ce qui se passe sur la face droite du piston, on aura donc à prendre seulement l'orifice de droite du cylindre.

Le coin étant à fond, c'est-à-dire le bloc distributeur étant invariablement lié aux deux tasseaux, on peut réaliser une introduction nulle sur la face droite du piston. Il suffira, les tiroirs aussi bien que les tasseaux étant dans leur position moyenne, de donner aux tasseaux un recouvrement $l = oe_0$; en effet, lorsque la machine sera au point mort, le tiroir étant en retard par rapport aux tasseaux de $oe_0 = l$, on voit que la position relative sera obtenue en déplaçant sur la figure, le tiroir vers la droite d'une quantité l ; la fermeture est donc opérée précisément au point mort et ne fait que s'accroître de plus en plus.

Pour la position de manivelle oN le tiroir est en retard sur les tasseaux de la quantité la plus grande oE_2 ; il faut qu'à ce moment les canaux du tiroir soient entièrement ouverts pour l'introduction qui va se préparer à partir de M_0 , car s'ils ne l'étaient pas, ils ne le seraient pour aucune autre position.

Ainsi pour le parcours NM_0 de la manivelle, le tiroir avance par rapport aux tasseaux d'une quantité égale à la largeur λ des canaux partiels du tiroir on doit donc avoir $\lambda = oE_2 - oe_0$.

Proposons-nous en second lieu, de faire cesser l'introduction lorsque la manivelle est arrivée en oM , le tiroir ayant pris par rapport aux tasseaux une avance oe_1 on sait que les canaux seraient déjà recouverts d'une quantité $oe_0 - oe_1$, si le coin avait été laissé à fond; pour que le recouvrement soit nul en ce point il faut le diminuer de $oe_0 - oe_1$, ce qui s'obtiendra en relevant le

coin dans la position pointillée, figurée de manière à ménager un jeu $mn \equiv oe_0 - oe$, point où se produit la butée du taquet contre le coin, à partir du moment où se produit le contact entre le taquet et le coin. Le tiroir dont le retard relatif par rapport aux tasseaux diminue de plus en plus, referme ses canaux d'un mouvement non interrompu ; au moment où la butée a lieu, la position relative est celle de b , la fermeture complète ayant lieu dans la position de la figure, il suffira de prendre oe_1 et d'y ajouter λ , de chercher la position de la manivelle pour laquelle le retard est $oe_1 + \lambda$ on trouvera ainsi oM' .

Cette machine bien étudiée fonctionne dans de bonnes conditions et sa distribution est robuste et facilement visitable.

Cette machine est munie de graisseurs Stopfer pour le mouvement et de graisseurs à huile pour les cylindres et tiroirs.

Le volant, en deux parties, a 14 gorges pour câbles.

Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre petit cylindre.	0 ^m ,620
» grand »	1 ^m ,000
Rapport des volumes	2.60
Course commune	1 ^m ,250
Nombres de tours	60

Cette machines développe 400 chevaux indiqués à une pression initiale de 5 atmosphères pour une introduction de 30 à 35 % au petit cylindre.

Machine Corliss compound de MM. Berger-André

(Planches 54-55)

La machine exposée est du type Corliss compound, à distribution Berger-André.

Elle est composée de deux cylindres de diamètres différents dont les manivelles sont calées à environ 90 degrés.

Chaque cylindre est relié à son palier par un bâti à baïonnette formant glissière. Le petit cylindre, à double enveloppe de vapeur, reçoit directement la vapeur de la chaudière ; les obturateurs d'admission et d'évacuation sont actionnés par un système de bielles recevant le mouvement par un excentrique unique. La durée de l'admission est réglée par le régulateur agissant sur un déclic.

En sortant du petit cylindre, la vapeur se rend dans un réservoir à double enveloppe recevant directement la vapeur de la chaudière. De là, elle est distribuée dans le grand cylindre à double enveloppe de vapeur, muni aussi de tiroirs circulaires, et dont les obturateurs d'admission sont actionnés par un excen-

trique spécial dont la position règle la détente. Un second excentrique actionne les obturateurs d'échappement.

La vapeur d'échappement du grand cylindre se rend au condenseur, qui est placé sous le bâti, et qui est commandé par la manivelle par l'intermédiaire d'une bielle verticale et d'un balancier horizontal.

Les dimensions principales de cette machine sont :

Diamètre du petit piston.....	0 ^m ,355
— du grand —	0 ^m ,560
Rapport des volumes.....	2,40
Course des pistons.....	0 ^m ,910
Nombre de tours par minute.....	70

Un des avantages de cette machine consiste dans la simplicité de son déclenchement, que nous décrivons :

Celui-ci se compose d'un excentrique *c*, entouré d'un collier *b*, portant un cliquet mobile *e*, qui tourne sur le support creux *d* de la tige de l'obturateur.

Le mouvement alternatif donné par l'excentrique de distribution aux organes de l'échappement est transmis par la bielle *a* au collier *b*. Le cliquet *e* appuie sur une des extrémités du levier double *f* qui est calé sur l'axe des tiroirs de distribution.

L'autre extrémité de ce levier *f* est reliée par la bielle *g* à un piston atmosphérique qui assure la fermeture instantanée du tiroir de distribution. L'excentrique *c* est actionné par le régulateur par l'intermédiaire des bielles *h* et du levier à trois branches *i*. Pendant que le collier *b* est mis en mouvement par la bielle *a*, le cliquet *e* qu'elle porte est rapproché ou éloigné du centre *x*, suivant la position donnée par le régulateur à l'excentrique *c*. Par suite, la durée du contact entre le cliquet *e* et le levier *f*, qui détermine celle de l'admission, sera plus ou moins longue, et l'admission maximum est plus grande que dans la machine Corliss primitive.

Au moment de l'interruption du contact, la fermeture brusque de l'admission a lieu par suite du rappel du levier *f* par la tringle *g* du piston atmosphérique.

L'excentrique *c* porte une came *k* qui, en cas de rupture de la courroie motrice du régulateur, vient soulever le cliquet *e* et empêche ainsi toute admission de vapeur.

On voit, par la figure, qu'un très faible déplacement de l'excentrique suffit pour faire varier la durée de l'admission, et qu'ainsi la parfaite régularité de la marche est assurée.

Pendant les mouvements circulaires et alternatifs des pièces de déclenchement autour du point central, le cliquet *e* reste toujours normal au levier *f*, de telle sorte que l'enclenchement est toujours assuré, ce qui permet de donner à

la machine une grande vitesse, qui est encore favorisée par la suppression complète de tout presse-étoupes.

L'étanchéité est obtenue, pour les tiges d'obturateurs, par un joint métallique, et pour la tige du piston, par une garniture entièrement métallique. La machine est munie de graisseurs Stopfer, et pour les cylindres, du graisseur par pression Mollerupt. Le boulon de crosse est à graissage central.

La pompe du condenseur, placée dans le sous-sol, est actionnée par la manivelle motrice du grand cylindre.

Les pistons des machines sont munis d'anneaux métalliques assurant une bonne étanchéité.

Les têtes de piston, en acier, portent des glissières maintenant invariablement la marche des bielles dans le même plan, et qui sont réglables au moyen de coins mobiles.

Pour éviter tout retour d'eau du condenseur au cylindre, au cas où la machine tournerait sans vapeur, avec le robinet d'injection d'eau ouvert, une soupape reniflard, permettant de régler le degré de vide au condenseur, est montée sur la chambre de condensation, qui reçoit en outre elle-même un flotteur à soupape qui s'ouvre lorsque l'eau atteint un niveau anormal, et permet une entrée d'air empêchant le vide d'être plus élevé dans le cylindre que dans le condenseur.

Cette machine, des mieux construites, est un des meilleurs types de machines à quatre distributeurs.

Machine compound en tandem de MM. de Ville-Châtel et C^{ie}, de Bruxelles. (Système J.-R. Frikart)

(Planches 57-58)

Cette machine, destinée à marcher à grande vitesse (175 tours) et propre, par conséquent, à la production de la lumière électrique, est munie de quatre distributeurs à chaque cylindre, mais sans déclat, disposition motivée par la grande vitesse de rotation de la machine.

Les deux cylindres sont en tandem et le réservoir intermédiaire est au-dessus du grand cylindre, et le condenseur en dessous. La régularité de marche est assurée par un appareil situé dans le volant, et analogue à ceux que nous avons décrits (Armington, etc.)

La course commune des pistons est de 0^m,400 et les diamètres des cylindres sont de 400 et de 220 millimètres. Cette machine développe un travail de 80 chevaux. Le rapport des volumes des cylindres est de 3,30.

Cette machine, très compacte, tenant peu de place, est très bien exécutée.

Machine compound de la Société de l'Horme

(Planches 59-60)

Cette machine est à deux cylindres accolés n'ayant qu'une seule enveloppe extérieure. Cette machine est caractérisée par sa distribution avec mouvement de la détente à vapeur, du système Bonjour.

La machine de 250 chevaux de ce type a pour diamètres de cylindres 400 millimètres et 690 millimètres, et une course commune de 800 millimètres et fait 100 tours par minute.

Le tiroir principal de la distribution conduit par l'excentrique détermine, comme à l'ordinaire, l'avance, l'échappement et la compression.

A l'intérieur de ce tiroir, s'en trouve un autre, dit tiroir de détente, qui a pour fonction de fermer rapidement l'orifice d'admission au moment voulu de la course du piston.

Ce petit tiroir circulaire équilibré, est relié à une tige qui peut se déplacer parallèlement à l'axe des cylindres et qui porte un petit piston à chacune de ses extrémités. L'un de ces pistons se meut dans un cylindre à vapeur, et, par suite du mouvement alternatif d'un distributeur spécial, il reçoit successivement la pression sur chacune de ses faces. Il est donc animé lui-même d'un mouvement de va-et-vient, et ce mouvement, transmis au tiroir de détente, produit instantanément l'obturation alternative des orifices d'admission au cylindre moteur.

L'autre petit piston fonctionne de la même façon dans un cylindre amortisseur à eau, P, placé à l'arrière de la machine, et il a pour but d'annihiler les chocs qui pourraient se produire à chaque changement de direction du tiroir de détente.

Le distributeur qui, avons-nous dit, commande le tiroir de détente, est actionné par un mouvement elliptique combiné avec une coulisse C, dont la résultante est un mouvement angulaire variable; ce mouvement obéit lui-même directement au régulateur. Quelle que soit la position de ce dernier, les admissions avant et arrière sont égales.

Ce régulateur est étudié de telle sorte qu'au fur et à mesure de l'accroissement de la force centrifuge par suite de l'agrandissement du cosinus de l'angle d'écartement des masses régulatrices, le moment de la masse centrale augmente proportionnellement : c'est une cause d'influence perturbatrice évitée; il est donc d'une grande stabilité.

Le mécanisme de détente permet de varier l'admission de 0 à 70 % de la course du piston du régulateur.

Ce mode de détente est ingénieux, mais pour donner de bons résultats pratiques, il exige une construction très soignée.

La distribution que nous venons de décrire est celle du petit cylindre.

Le grand cylindre devant débiter intégralement le volume de vapeur détendue dépensé par le petit, et le volume de ce petit cylindre étant constant, il en résulte que le volume introduit dans le grand cylindre doit être également constant, quel que soit le travail développé par la machine.

En outre, le volume des cylindres étant dans le rapport de 1 à 3, il faut que la durée de l'introduction dans le grand soit le tiers de la course du piston.

On la fait un peu plus forte pour être certain que la vapeur dépensée par le petit cylindre soit complètement absorbée par le grand. Cette distribution au grand cylindre se fait à l'aide d'un seul tiroir spécial, commandé par un seul excentrique.

Les deux cylindres sont accolés, et les pistons attaquent un arbre coudé assez faible, muni de deux poulies-volants. Les glissières sont à section circulaire.

Le condenseur est placé latéralement, la bielle d'attaque prend son mouvement sur l'arbre moteur.

Les têtes de bielles sont graissées par des lècheurs à chaque révolution.

Machine compound de 180 chevaux fournissant l'eau aux appareils hydrauliques du Port du Havre

(Planches 61-62)

La Compagnie des Forges et Chantiers de la Méditerranée a construit deux machines semblables de 180 chevaux capables de refouler 1 000 litres d'eau par minute à la pression de 60 kilogrammes par centimètre carré.

Les cylindres de ces machines ont 0^m,550 et 1^m,100 de diamètre et 1^m,100 de course. Soit un rapport de 4.

Le petit cylindre est à distribution Meyer, les cylindres sont à enveloppe de vapeur.

Machine compound construite par la Maison J. Le Blanc

(Planches 61-62)

Cette machine dont nous donnons ci-contre les diagrammes est devenue d'un type courant et a été établie pour actionner les pompes du Bon Marché. Ce type très ramassé et bien construit peut être adopté dans bien des cas.

Nous joignons également le dessin des cylindres des locomobiles compound construites par cette maison qui expose une machine mi-fixe qu'on peut munir de roues de la force de 12 chevaux.

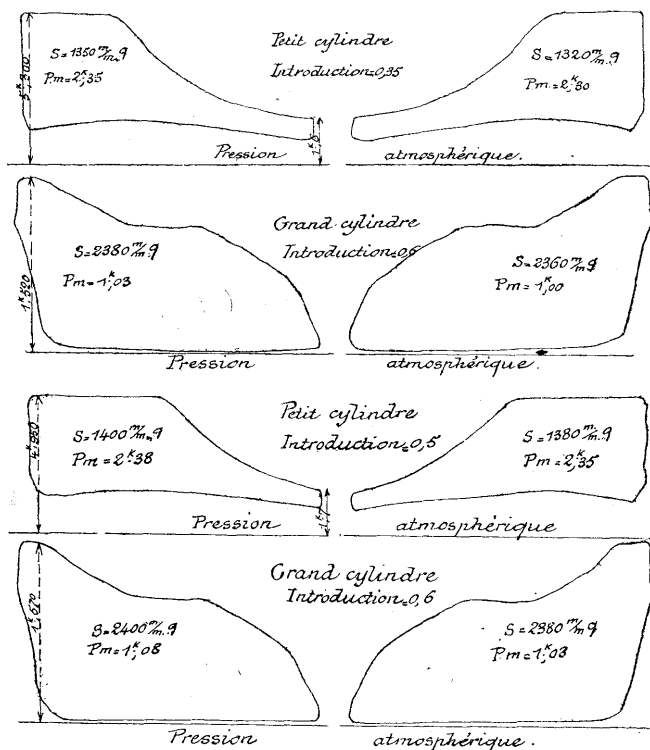


FIG. 19. — DIAGRAMMES PRIS SUR LA MACHINE COMPOUND
DE LA MAISON J. LE BLANC

Diamètre du piston	0 ^m ,230
Course	0 ^m ,360
Vitesse	100 tours.
Introduction.	1/4
Timbre	6 k. 50

Machine compound mi-fixe de 80 chevaux de M. Ch. Bourdon

(Planches 63-64)

Cette machine dont nous joignons le dessin a un condenseur à surface.

Elle fonctionne à une pression de 7 kilogrammes, les diamètres des cylindres sont 560 et 330 et la course commune de 560 millimètres, soit un rapport de volume égal à 2,88. La chaudière est à foyer amovible.

Machine élévatoire Worthington

Cette machine fort intéressante est employée à l'élévation des eaux du service de l'exploitation ainsi qu'une machine Wheelock à grille.

Pour les machines à vapeur à travail constant on peut distinguer plusieurs périodes dans le fonctionnement. Prenons par exemple, et c'est le cas présent, une pompe :

1^{re} période : pleine admission, excès de puissance sur la résistance ;

2^e période : commencement de la détente, égalité entre la puissance et la résistance ;

3^e période : fin de la détente, avance à l'échappement, infériorité de la puissance sur la résistance.

Donc nécessité absolue du volant formant réservoir de puissance vive.

M. Worthington a recherché le moyen de supprimer le volant, l'arbre et les manivelles.

Il y est arrivé de la façon suivante :

Deux petits cylindres oscillants M et M' sont reliés au prolongement de la tige des pompes. Ces cylindres communiquent soit directement, soit par l'intermédiaire d'un accumulateur avec l'eau de la conduite de refoulement.

Ces pistons sont donc soumis à une pression proportionnelle à celle de la conduite de refoulement.

Or les pistons sont articulés à rotule sphérique sur la tige du piston et les cylindres peuvent osciller autour d'un point fixe O. (Voir fig. 12, p. 43).

Il en résulte que, d'après leur orientation, d'après l'angle qu'ils font avec la tige horizontale considérée, on a un effort positif ou négatif dans l'axe de la tige (position M₁ et M₂), avec un effort nul quand l'angle des tiges de piston auxiliaires avec l'axe de la pompe est de 90° (position M₂).

On peut donc ainsi absorber l'excédent d'énergie pour le rendre ensuite et avoir un rapport uniforme entre l'action des pistons auxiliaires et la charge de la colonne de refoulement.

Cette solution est fort élégante et la machine construite sur ce principe qui est de très grandes dimensions, car elle peut donner 24000 mètres cubes par jour, fonctionne dans de bonnes conditions depuis l'ouverture de l'Exposition.

La machine à vapeur proprement dite est une compound en tandem ainsi que le montre le dessin fig. 11, p. 42, chaque cylindre est à quatre distributeurs.

Le volume intermédiaire est muni d'un sécheur tubulaire à vapeur directe.

Les obturateurs d'admission et d'échappement sont en cascade ce qui a l'inconvénient d'augmenter un peu les espaces morts. Les obturateurs d'admission du cylindre de gauche sont mûs par la tige du cylindre de droite et inversement.

Les obturateurs d'échappement sont mûs par la tige du piston du cylindre auquel ils appartiennent.

Le condenseur a sa pompe horizontale et actionnée par le balancier K.

L'arrivée de vapeur est munie en C d'un sécheur de vapeur.

Les dimensions de cette machine sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre	381 millimètres.
Diamètre du grand cylindre.	762 »
Soit un rapport de 4 entre les volumes	
Course	650

Cette machine fonctionne avec 6 kilogrammes de pression à l'admission.

Machine compound, construite par M. Boulet

Cette machine horizontale a ses deux cylindres accolés et fondus avec une même enveloppe.

Les diamètres des cylindres sont 350 et 580 avec une course de 700 millimètres, ce qui donne un rapport de 2,74 entre les volumes.

Cette machine à 70 tours développe 140 chevaux.

Le grand cylindre est à détente fixe.

Le petit cylindre a un tiroir à plaques glissantes. Les plaques supérieures sont actionnées par une coulisse (détente Bonjour) et reçoivent l'action du régulateur.

Le condenseur situé dans le sous-sol est actionné par une manivelle calée sur l'arbre moteur.

Le volant de cette machine d'une seule pièce porte une courroie.

Ce type de machine est courant et solidement établi.

Compresseurs d'air de la Société Cockerill

Les cylindres à air sont disposés en tandem sur les cylindres d'une machine compound à condensation.

Les cylindres à vapeur vont attaquer un arbre portant un volant au milieu de sa longueur.

Les bâtis sont à baïonnette. La pompe du condenseur est commandée par une contre manivelle.

Le cylindre à haute pression est muni de la détente Meyer. Le régulateur n'agit pas sur la détente, car le travail est constant, mais sur l'admission de vapeur pour éviter une marche trop rapide.

Le tiroir du cylindre à basse pression est à canal, système Trick.

Cette machine fait 45 tours et emploie de la vapeur à 8 atmosphères. La course est de 1^m,200 et les diamètres des cylindres à vapeur 1^m,150 et 0^m,700, ce qui donne un rapport de 2,69 entre les volumes.

Cette belle machine est destinée à la Société parisienne d'air comprimé.

Machine à vapeur horizontale compound de la Maison Sulzer

(Planches 65-66)

Cette belle machine est construite d'après le système à soupapes bien connu, avec cylindres à haute et à basse pression disposés l'un à côté de l'autre, de 500 et 800 millimètres, rapport des volumes 2,54 ; 1400 millimètres de course des pistons, faisant 75 révolutions par minute ; en travaillant à une pression initiale de 7 $\frac{1}{2}$ atmosphères au cylindre à haute pression et avec condensation cette machine développera avec une admission de 10, 20, 30 et 40 % un travail de 265, 360, 430 et 500 chevaux effectifs.

Cette machine a une vitesse de piston de 3^m,500 par seconde.

En principe, le mouvement de distribution est le même que pour la machine exposée en 1878 ; mais il a été simplifié pour les soupapes d'admission du petit cylindre, ainsi que pour les soupapes d'échappement du cylindre à basse pression, en adoptant l'élément le plus sûr, c'est-à-dire les cames que l'on a en outre construites en deux parties pour pouvoir les ajuster.

Le mouvement des soupapes d'admission pour le cylindre à basse pression se fait d'une manière tout à fait analogue, en suivant le principe, que l'admission au grand cylindre doit être fixe et correspondre au rapport des volumes des deux cylindres. Il est bien entendu que les cames sont réglables comme celles de l'échappement pour pouvoir régler à l'aide de l'indicateur.

Avant d'entrer aux cylindres mêmes, la vapeur traverse les enveloppes. L'enveloppe du grand cylindre sert aussi de réservoir. MM. Sulzer ont abandonné complètement le réservoir intermédiaire lequel, d'après les essais comparatifs qu'ils ont faits, ne présente pas d'avantage.

Des essais faits avec une machine tout à fait égale à celle exposée ont donné une consommation de 6 k. 353 de vapeur par cheval *indiqué* et par heure, y compris toutes les eaux de condensation des enveloppes.

Le graissage se fait au moyen de petites pompes, lesquelles aspirent l'huile

tombant d'un réservoir, elles sont à débit visible et peuvent être réglées à volonté. Les têtes de bielles sont graissées par le centre par un graisseur à force centrifuge.

Les tiges des pistons sont de fort diamètre et les presse-étoupes renferment des garnitures métalliques, qui se prêtent parfaitement pour soutenir les poids des tiges, tandis que les pistons mêmes sont du type *Ramsbottom* lesquels, surtout à cause de leur petit poids, offrent des avantages notables pour les grandes vitesses.

Les crossettes, les bielles, les manivelles et l'arbre de couche ont des tourillons de dimensions très fortes pour présenter beaucoup de surface et réduire ainsi la pression par centimètre carré.

La pompe horizontale du condenseur est à double effet et disposée au-dessous de la manivelle du cylindre à basse pression qui attaque directement la bielle de la pompe. Le volant en deux pièces est muni de 14 gorges.

La maison Carels de Gand expose une machine semblable de 350 chevaux.

Ces machines sont d'une exécution remarquable et étant donné qu'on accepte la soupape comme distributeur, nous ne croyons pas qu'on puisse trouver de meilleur type, plus étudié que celui des machines exposées.

Machine Olry et Granddemange

(Planches 67-68)

MM. Olry et Granddemange exposent une machine compound dont la distribution fort ingénieuse est construite de la façon suivante (fig. 6 et 7).

Sur la table du cylindre B est montée une boîte à vapeur G. Dans cette boîte à vapeur est un tiroir C à distribution intérieure afin qu'il n'y ait d'autres espaces nuisibles que ceux dûs aux conduits du cylindre, lesquels sont très courts. Ce tiroir C est guidé dans le sens vertical entre les faces D et E de la boîte et fonctionne entre deux glaces : celle A du cylindre et celle F d'une autre pièce, fixe dans le sens du mouvement longitudinal, maintenue qu'elle est, entre les butées FF. Cette pièce F porte verticalement : 1° Deux coussinets QQ ; 2° intérieurement, une portion de glace circulaire ou cylindrique P, percée d'une lumière L débouchant sur le dos du tiroir (cette glace circulaire est excentrée d'une certaine quantité) au 1/4 par rapport aux coussinets QQ ; 3° enfin, un obturateur cylindrique Men bronze, dont les tourillons en acier s'ajustent dans les coussinets QQ (cet obturateur est de même rayon que la glace circulaire P, mais ses tourillons sont forcément excentrés de la quantité signalée ci-dessus). La glace F est pressée contre le tiroir G : 1° Principalement par l'action de la vapeur ; 2° en outre, par quatre

ressorts à boudin *tttt* logés sur les tiges prolongées des 4 vis montées sur le dos de la boîte à vapeur G. (Ces vis ont pour fonction principale de venir buter à 1/2 millimètre de jeu sur les paliers du siège de l'obturateur, afin qu'un décollement accidentel ne puisse exposer la glace F à être écartée violemment du dos du tiroir C.) Le tiroir C est construit pour une introduction de 8/10 de la course du piston ; les choses sont disposées de façon que, à certains moments, il démasque totalement l'orifice L et l'un ou l'autre des orifices d'introduction du cylindre. L'obturateur M est destiné à produire l'occlusion de l'orifice L de manière que l'introduction au lieu de se faire pendant les 8/10 de la course, comme le permet le tiroir C, varie comme le travail à produire entre 0 et 8/10. A cet effet, l'obturateur M est commandé par une manivelle S montée sur le prolongement indépendant des tourillons de l'obturateur (l'axe de la manivelle S et les tourillons de l'obturateur sont indépendants pour que l'usure possible des glaces n'influe en rien sur la verticalité des deux axes ; ils sont reliés entre eux par deux manivelles d'entraînement *rr*), la manivelle S est, d'une part, constamment soumise à la tension d'un ressort V (fig. 5), qui tend à produire le mouvement de fermeture de l'obturateur, et, d'autre part, sollicitée à certains moments, par la bielle U, travaillant sous traction du régulateur en sens contraire du ressort V, et produisant par suite les mouvements d'ouverture de l'obturateur. Les deux mouvements de l'obturateur se produisent donc de la façon suivante : Lorsque la bielle U devient libre, l'obturateur est sous l'action du ressort V, brusquement lancé sur son siège où il s'appuie énergiquement à la façon d'un coin ; quand la bielle U prend son mouvement opposé, elle commence à décoller l'obturateur M de son siège ; alors cet organe se trouvant enveloppé de vapeur de toutes parts, est parfaitement équilibré et, par suite, continue son mouvement sous l'action d'une force extrêmement faible. Ainsi, l'obturateur opère brusquement son mouvement de fermeture comme dans les Corliss : il appuie énergiquement contre sa glace pendant le repos, ce qui empêche toute fuite ; et enfin pendant son mouvement, il est parfaitement équilibré, ce qui diminue considérablement les frottements, les dimensions du ressort, et empêche le grippement. L'appareil fonctionne de la façon suivante : la bielle U reçoit son mouvement d'une pièce spéciale *c* en forme de came, montée sur l'arbre du régulateur ; elle est articulée à l'extrémité d'un levier coudé *aa*, dont l'autre extrémité porte un galet ovoïde *b*, lequel, par l'intermédiaire de deux roues dentées *e, f*, reçoit son mouvement de l'arbre *g* de la machine, de manière à faire exactement deux fois plus de tours que cette dernière. La came *c* se compose de deux portions cylindriques *h, i*, reliées entre elles par une surface cylindrique, destinée à produire le démasquement de l'orifice L, et séparée par un hélicoïde à plan directeur *k* dont le but est d'échapper le galet *b* tombe à cinq millimètres du noyau cylindrique *h* de la came, ce qui empêche d'abord les chocs et le bruit qui en résulteraient. (Le bruit de la retombée de l'obturateur sur son siège est détruit

par l'action d'un amortisseur à air X , dont la bielle U porte le piston). Les boules $m m$ du régulateur sont placées aux extrémités de leviers coudés $n n$, articulés à une pièce en Y , fixée à l'arbre d . Les autres extrémités des leviers $n n$, portent des galets $o o$, s'engageant sous la tête d'un boulon p , qu'ils soulèvent plus ou moins. Ce boulon, qui est dans l'intérieur de l'arbre tubulaire d , est réuni à la came c au moyen d'une clavette qui se meut dans une mortaise pratiquée dans l'arbre d du régulateur.

Un premier avantage de cette disposition, c'est d'obtenir pour la came une très grande course au moyen d'un régulateur relativement petit. Quand les boules $m m$ sont extrêmement rapprochées l'une de l'autre, la came c , qui suit le boulon p , est à sa position inférieure, et le galet b s'appuie sur la partie supérieure de la came, laquelle donne alors lieu à une introduction des $8/10$. Au contraire, quand les boules $m m$ sont extrêmement éloignées l'une de l'autre, la came c est à sa position supérieure, et le galet b , se trouvant alors en face de la partie inférieure de la came, n'oscille plus, et l'introduction se trouve réduite à zéro. Pour les positions intermédiaires on obtient toutes les introductions possibles entre 0 et $8/10$. La sensibilité de cet appareil est très grande. Le régulateur agit directement sur la came, enfin celle-ci est complètement isolée de la distribution pendant la détente, puisque le galet b est alors à cinq millimètres du noyau de la came. Sur la tête du boulon p est montée une pièce Z , sorte de vase destiné à recevoir de la grenaille de plomb. Cet appendice est précieux pour obtenir la vitesse précise que l'on désire et un équilibre parfait. Le dessin (fig. 3) donne la coupe des cylindres de cette machine.

$a a_1 a_2 a_3 a_4$. Réservoir de vapeur intermédiaire, commençant en a , se poursuivant $a_1 a_2 a_3$ pour se terminer en a_4 .

$b b_1 b_2 b_3 b_4$. Enveloppe de vapeur du réservoir intermédiaire, commençant en b , se poursuivant en $b_1 b_2 b_3$ pour se terminer en b_4 .

$c c c'$. Enveloppes de vapeur des deux cylindres.

$d d d'$. Enveloppes de vapeur des fonds et couvercles des deux cylindres ;
 i arrivée de vapeur directe par les trous $e e e' e'$, évacuation de la vapeur condensée par les trous $f f f' f'$.

g Trou d'alimentation de l'enveloppe du réservoir intermédiaire.

Canal d'alimentation de l'enveloppe des deux cylindres (par les trous $i i i$),

J Petit robinet (appartenant au double robinet O) alimentant toutes les enveloppes par le trou $k k$.

$l l$ Canaux faisant communiquer la partie inférieure de toutes les enveloppes avec la partie inférieure de l'enveloppe du réservoir intermédiaire.

m Purge unique de toutes les enveloppes.

n Purge du réservoir intermédiaire au moyen d'un seul robinet à deux orifices.

O Robinet de prise de vapeur à deux clapets, pouvant desservir l'un ou l'autre

des deux cylindres ou tous les deux simultanément (servant, par conséquent, de mise en marche).

ppppp Canal d'arrivée de vapeur directe au petit cylindre.

qq Canal d'arrivée de vapeur directe au grand cylindre (par le réservoir intermédiaire).

R Robinet d'échappement à clapet à deux sièges, permettant d'intercepter la communication du réservoir intermédiaire avec l'échappement du petit cylindre, et de renvoyer cet échappement dans un conduit spécial.

ssst Conduit spécial d'échappement du petit cylindre venant rejoindre l'échappement à la sortie du grand cylindre.

Le robinet double *O* de prise de vapeur, le robinet d'échappement et le conduit spécial d'échappement *ssst* permettent de faire fonctionner cette machine à quatre marches distinctes.

Marche normale avec deux cylindres compounds :

Travail compound 100 chevaux indiqués.

Marche anormale: Le robinet d'échappement étant fermé sur le réservoir intermédiaire, sous une pression de vapeur directe avec le petit cylindre seul, travail maximum 65 chevaux; avec le grand cylindre seul avec distribution Meyer au grand cylindre, de 2 à 8/10, 185 chevaux; avec les deux cylindres, à la fois, 250 chevaux, sous une pression initiale de 6 kilogrammes et marchant à 80 tours.

Ci-contre, le diagramme relevé sur le petit cylindre à l'exposition le 21 juin 1889.

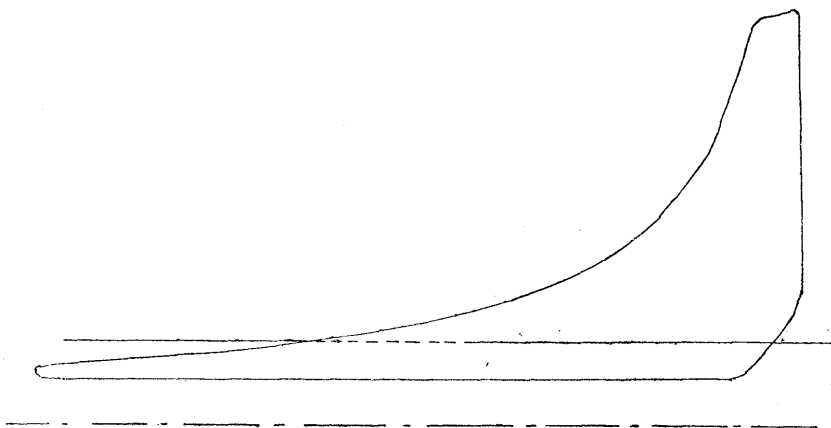


FIG. 20

Cette machine est un peu compliquée, mais elle est construite d'une façon robuste et tient peu de place.

Le condenseur en tandem est attaqué par la tige du grand cylindre. La pompe

alimentaire, accolée au condenseur, est actionnée directement par la tige du petit cylindre.

L'arbre moteur porte deux volants poulies et est maintenu par quatre paliers, dont trois à coins. Il y a là une certaine difficulté de construction.

Les cylindres sont graissés par un oléomètre Bourdon.

Machine Wheelock, construite par M. de Quillacq

(Planches 69-70)

La machine Wheelock, basée sur le principe des machines Corliss, a ses 4 distributeurs, situés à la partie inférieure du cylindre, les organes du déclié sont bien simples, très robustes et cette qualité rachète sa légère augmentation d'espace mort qu'on a dans cette machine en comparaison avec une machine Corliss ordinaire.

La machine Wheelock, exposée par la maison de Quillacq, est une machine compound à 2 cylindres de 300 chevaux, avec condenseurs conduits directement par les tiges de piston, l'un des condenseurs sert en marche normale, l'autre est destiné à la marche avec une seule machine.

Cette machine possède de nouveaux tiroirs à grille que M. Wheelock a adoptés d'abord pour les machines puissantes et qu'il applique maintenant à toutes les machines.

L'excentrique E, placé sur l'arbre du volant comme dans les machines à tiroirs ordinaires, donne un mouvement d'oscillation à la barre A, qui communique ce mouvement au levier B par une fourche C. On peut ainsi, en soulevant la barre d'excentrique par la poignée D, la déclencher, et au moyen de la poignée E et du levier B mouvoir, s'il y a lieu, les obturateurs à la main, pour faciliter la mise en marche.

En F, sur le levier B est fixé un tourillon portant le déclié G. L'embase encastrée de ce tourillon est excentrée par rapport à sa tige, ce qui permet de régler la position du déclié.

Dans la fourchette se trouve un guide cylindrique H, avec une partie plate entrant à frottement doux dans l'épaisseur du déclié, et pivotant sur le tourillon F. Sur ce guide glisse un dé ou petit cube en acier, portant un tourillon I mobile dans l'œil du levier coudé J. Le poids du déclié G fait presser sa

branche supérieure rectiligne sur le dé d'acier, ce qui en assure la direction. Sur cette branche rectiligne de la fourchette se trouve fixée en K, une touche saillante en acier, qui vient se placer devant l'arrêt du dé, et celui-ci entraîne le levier coudé J; l'espace entre K et G étant juste suffisant pour recevoir le dé.

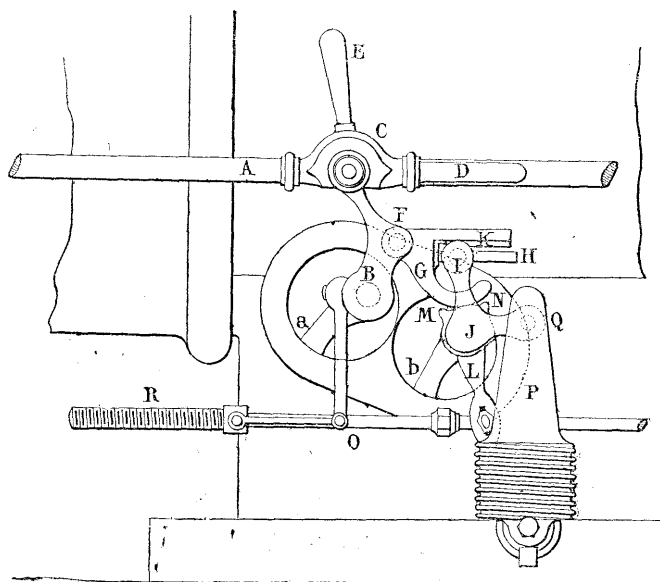


FIG. 21 A 25

Légende des figures 21, 22, 23, 24, 25.

A Cylindre.

B Tuyau d'arrivée de vapeur.

C Tuyau d'échappement conduisant la vapeur détendue au condenseur D.

E Excentrique commandant la distribution.

F Régulateur à force centrifuge dont l'action est transmise aux tiroirs par la coulisse G et la tringle H.

I, I Logements des tiroirs d'admission.

K, K Logements des tiroirs d'échappement.

La vapeur vive arrive dans l'enveloppe en c; en d est le purgeur.

e boîte à tiroir; f valve d'admission de vapeur affluant du générateur par B.

L Table en forme de grille taillée dans le bouchon fixé dans chacun des logements I, K.

M Tiroir à grille portant deux oreilles N sur lesquelles sont articulées des petites bielles h.

i Leviers à genouillère actionnant les bielles h

En L se trouve un levier mobile sur l'axe J, et il porte sur sa douille deux petits ergots M et N. La position de ce levier L est déterminée par le régulateur qui lui transmet ses variations par la tringle O. Ces variations ont pour effet de modifier la position de l'ergot M. (Voir fig. 21, p. 99.)

Quand la barre d'excentrique A recule et avec elle le déclic G, la partie courbe inférieure de la fourchette vient buter contre l'ergot M; le déclic se relève et le dé se désengage de la touche K; le levier coudé J devenu libre est tiré par le contre-poids à ressort P qui lui est relié par le tourillon Q, et le tiroir d'admission se ferme instantanément.

Au retour de la barre d'excentrique, la fourchette se trouve bientôt dégagée de l'ergot M; elle retombe sur le dé d'acier que la touche K ressaisit à la fin de la course, prête à ouvrir de nouveau le tiroir. Sur la tringle O se trouve un ressort spiral dont on peut varier la tension au moyen d'une simple vis à main, ce qui permet de changer le régime de vitesse avec la plus grande facilité et pendant la marche même.

Enfin si le régulateur vient à se déranger, l'ergot N se rapproche du déclic, le soulève d'une manière permanente, sans que la touche K puisse reprendre le dé d'acier I, de sorte que l'admission restant fermée, la machine s'arrête d'elle-même, ce qui prévient tout accident.

Les leviers B et J sont tous les deux fixés à l'extrémité d'un axe en acier trempé tournant dans des douilles aussi en acier.

Ces axes ont un collet qui, pressé constamment par la vapeur contre l'extrémité intérieure de la douille, forme un joint de vapeur étanche.

Tous ces détails sont d'ailleurs semblables à ceux de l'ancienne distribution Wheelock, à obturateurs coniques; comme dans l'ancienne machine Wheelock, il se trouve à chaque extrémité inférieure du cylindre deux ouvertures légèrement coniques *a*, *b*, dont l'une *b* renferme l'obturateur d'introduction, et l'autre *a* l'obturateur d'échappement; mais au lieu de cônes mobiles distributeurs, ces ouvertures reçoivent un support ou bouchon fixe qui s'y trouve fortement coïncé, comme le serait une clavette par un simple coup sec sur sa plus large extrémité.

La partie de ce bouchon fixe, située à l'intérieur du cylindre, est découpée et forme une table ou glace percée d'ouvertures longitudinales, formant ensemble une lumière d'une grandeur exceptionnelle à travers laquelle la vapeur passe très librement.

Sur cette glace travaille la grille de distribution. Cette grille est conduite par l'axe ou arbre C et S et par l'intermédiaire des leviers articulés en genouillère *i*.

L'examen du dessin (pl. 69-70) montre que quand l'excentrique sur l'arbre du volant passe à ses points morts, le déclic et les leviers articulés s'y trouvent en même temps, de sorte que la grille devient pour ainsi dire immobile, tandis que

l'effet contraire se produit quand l'excentrique est à peu près à mi-course, c'est-à-dire au moment de l'ouverture et de la fermeture des lumières. Il résulte de cette *triple* réduction ou accélération du mouvement que la grille n'a à faire qu'un parcours égal à l'une de ses ouvertures, au plus 3 ou 4 millimètres, et que ce parcours est très rapide.

La planche 69-70 montre la forme des barrettes de la glace et de la grille mobile. Il est à remarquer que quand les ouvertures sont fermées, le contact ne s'établit que sur une bande rodée de quelques millimètres de large, de sorte, qu'aussitôt que la grille avance, tout contact cesse, aussitôt la vapeur passe au-dessous des barrettes de la grille mobile, qui se trouve ainsi dégagée de toute pression, ainsi que toutes les articulations.

Il résulte de ce qui précède que le premier déplacement (c'est-à-dire alors que les barrettes sont en contact) se produit pendant que le triple système de leviers est vers son point mort, dans toute sa puissance presque illimitée, mais qu'au moment où l'ouverture doit être activée, toute pression a cessé et que cette ouverture s'opère presque instantanément avec un effort à peine sensible : il ne reste plus en effet que les points de contact laissés pour assurer la stabilité du tiroir.

Par suite aussi, au moment où le contre-poids doit suspendre l'introduction, le tiroir n'oppose pour ainsi dire aucune résistance et son action est assurée, bien que contre-poids et ressort n'aient qu'une force de quelques kilogrammes.

En fait, tous ces mouvements peuvent être mûs à la main très facilement comme il est dit plus haut, même dans les machines les plus puissantes et sous les plus hautes pressions ; aussi le même régulateur peut-il être employé pour des machines de forces différentes, bien qu'il ne soit pas plus puissant que le régulateur d'une machine à tiroirs ordinaires de quelques chevaux.

Un des avantages les plus remarquables de la disposition décrite ci-dessus, consiste en ce que chaque tiroir et son mouvement sont portés sur une pièce indépendante, simplement placée dans le cylindre, sans l'emploi d'aucun boulon, sans chapeau et sans aucune sorte de calfat, de sorte qu'un simple coup sec d'une masse en bois, à la petite extrémité de cette pièce ou support conique, permet de retirer tout le système qui peut être visité, réglé ou réparé s'il y a lieu, sur l'établi même et remis en place dans quelques minutes, ou même remplacé par un système de rechange pour éviter tout arrêt.

Enfin, comme dans l'ancienne machine Wheelock, on peut, en cas de besoin, marcher à simple effet avec les seuls distributeurs soit d'avant, soit d'arrière.

Les grilles paraîtraient devoir s'user rapidement, cependant les constructeurs affirment en avoir en service depuis quatre ans, sans qu'il y ait eu de remplacement.

Cet inconvénient, au surplus, ne serait pas très grave étant donnée la facilité de remplacement des distributeurs.

Cette machine, fort bien étudiée, est d'une construction très soignée.

La machine est munie de graisseurs Stopfer. Pour les cylindres il y a un graisseur à pression Mollerupt.

Le volant, en deux morceaux, est à courroie.

Les glissières sont cylindriques et on doit signaler un intéressant détail de construction : la crosse et le boulon de crosse sont en fonte, d'une seule pièce. Cette disposition est due à M. Wheelock.

Machine à détente asservie Pilon compound, type Farcot

(Planches 71-72)

Les nouvelles machines Pilon, type Farcot, sont caractérisées par l'emploi de la distribution Solms, gouvernée par un régulateur ordinaire dont la puissance est amplifiée par un servo-moteur.

La distribution Solms, telle qu'elle est réalisée dans ces moteurs, contient le minimum d'organes possible pour la commande du tiroir, à savoir :

1° La barre d'excentrique, dont l'extrémité est guidée par une coulisse régulatrice qui est ici une véritable coulisse et non pas la bielle oscillante plus compliquée adoptée dans certaines variantes, et 2° la bielle du tiroir qui reçoit son mouvement de cette barre.

Les tiroirs sont, par un nouveau mode d'équilibrage, à l'abri tant des pressions de la vapeur que des efforts d'inertie.

L'équilibrage contre les pressions de vapeur est obtenu par l'établissement en face de la glace du cylindre, d'une contre-glace réglable munie de contre lumières identiques rigoureusement en regard des lumières de la glace, et dans lesquelles on a eu le soin de faire régner constamment la même pression que dans les lumières des glaces principales.

Pour diminuer les effets de l'inertie, on a disposé aux extrémités supérieures des tiges des tiroirs, des couples de ressorts agissant alternativement et contrairement à ces efforts. Les efforts d'inertie sont ainsi compensés entièrement pendant toute la durée du mouvement oscillatoire.

Grâce à ces dispositions, on n'impose aux organes de commande qu'un minimum de fatigue, et le rendement de l'appareil sur l'arbre moteur ne peut être influencé que favorablement par ces dispositifs.

L'admission de la vapeur se fait par les arêtes intérieures des tiroirs, ce qui a l'avantage de faire supporter aux couvercles des boîtes à vapeur les pressions d'échappement seulement.

De plus la vapeur d'échappement trouve à la sortie des lumières, des voies plus larges que dans le cas de l'échappement par le creux de la coquille.

Chaque cylindre est garanti contre les coups d'eau par deux soupapes de sûreté.

Un système de robinets purgeurs assure de plus l'évacuation des eaux de purge de tous les cylindres et de tous les réservoirs intermédiaires.

Le régulateur isochrone Farcot, à bielles et bras croisés a une nouvelle forme simplifiée en ce sens que les bielles croisées sont remplacées par un simple mouvement de roulement des pièces centrifuges sous le contre-poids, lequel vient reposer sur elles sans interposition d'aucun autre organe. Ce régulateur, très sensible et très isochrone, communique son mouvement aux rênes d'un servo-moteur hydraulique, lequel attaque directement la coulisse.

L'appareil servo-moteur, d'une constitution simple et robuste, fonctionne ici dans des conditions nouvelles puisque, au lieu d'être actionné par la vapeur même, au lieu de comporter par conséquent les variations inévitables d'un fluide élastique et d'exiger l'adjonction d'un cylindre à huile pour les amortir, il réunit en un seul cylindre les avantages de la vapeur et ceux du liquide incompressible. Il réalise ce résultat en demandant sa force motrice non pas à la vapeur même, mais à une eau mise par elle en pression, comme par exemple l'eau de la chaudière ou l'eau des purges de la conduite ou de la boîte de tiroir.

La mise en marche de ces machines et leur arrêt peuvent être effectués au gré de l'opérateur aussi rapidement et aussi progressivement qu'on le désire au moyen d'un petit volant à main qui permet, par l'intermédiaire d'une vis, de dominer à cet instant le régulateur en réglant la vitesse de son mouvement de chute ou de montée. Une fois en marche, on laisse au contraire le régulateur entièrement libre dans son action.

Pour faciliter au personnel la conduite de ces appareils extrêmement simples par eux-mêmes, on a pourvu de plaques indicatrices tous les robinets et leviers et tous les organes à manœuvrer, ce qui rend impossible toutes fausses manœuvres.

Tous les graissages sont automatiques par des graisseurs à écoulement continu.

La pompe du condenseur est mue par une manivelle calée sur l'arbre moteur. Le bâti creux forme chambre de condensation.

La maison Farcot expose une machine pilon à triple expansion munie de la même distribution.

Les pompes de condensation sont mues par des excentriques placés sur l'arbre moteur.

Les graisseurs des tourillons moteurs sont placés sur le corps des bielles.

Machines compound, système Sautter et Lemonnier

(Planches 73-74)

Ces machines spéciales pour actionner des dynamos sont très répandues dans la marine. C'est une de ces machines qui sert à l'éclairage du phare de la tour Eiffel, et bien que ce moteur développe 70 chevaux alors qu'il est du type de 45 chevaux, il donne complète satisfaction depuis sa mise en route.

Les machines compound Sautter et Lemonnier peuvent se ramener à trois types.

I. Moteur pilon à deux cylindres compound. — Les cylindres situés à la partie supérieure, une seule glissière. L'ensemble facilement visitable. Tous les coussinets sont à rattrapage de jeu et le graissage se fait à l'aide de la graisse Dégremont.

Le moteur type « Indomptable » a des cylindres de 310 et 206 millimètres, et une course de 170 millimètres. Ce qui donne un rapport de 2,26 entre les volumes.

Cette machine en marche normale, à 350 tours et 5 kilogrammes à l'admission, développe 30 chevaux. La consommation n'atteint pas, dans ces conditions, d'après les constructeurs, 10 kilogrammes par cheval effectif au frein.

Cette machine peut donner 45 chevaux.

Le cylindre à haute pression a un tiroir double à détente variable, le cylindre à basse pression a un tiroir simple.

La maison Sautter et Lemonnier expose un moteur du même type d'une puissance de 120 chevaux, dont la consommation, avec 6 kilogrammes à l'admission, n'atteint pas 9 kilogrammes par cheval effectif.

C'est aussi à ce type qu'appartient la machine du phare de la tour Eiffel.

Les cylindres ont des diamètres de 260 et 380 millimètres et une course de 200. Soit un rapport de 2.13.

2° Moteur compound à axe central, type « Troude ». — Les cylindres sont placés à la partie inférieure et servent de bâti. L'arbre de couche forme l'axe de l'ensemble et porte la dynamo.

Cette machine développe 30 chevaux à 350 tours, et l'ensemble n'occupe que $1^m,40 \times 2.00 \times 1.05$.

Ces machines sont bien étudiées et bien appropriées à leurs grandes vitesses de régime.

**Machine à vapeur horizontale, à triple détente,
force normale 100 chevaux effectifs, de la Maison Sulzer**

(Planches 75-76)

L'idée fondamentale, qui a guidé dans la construction de cette machine, c'est de pouvoir adapter à des moteurs de faible puissance le système à triple détente. Pour ce but, MM. Sulzer ont supposé que la disposition normale, pour des machines horizontales à trois cylindres, avec le premier et le second l'un derrière l'autre, et le troisième accouplé sous 90°, ne pourrait pas être applicable à de petites machines, celles-ci devenant trop compliquées sous le rapport d'avoir trop de détails pour la distribution, trop de presse-étoupes, etc.

La machine exposée se compose :

1° D'un cylindre à haute pression, à simple effet, de 350 millimètres de diamètre; 2° d'un cylindre à moyenne pression, aussi à simple effet, de 525 millimètres de diamètre; et 3° d'un cylindre à basse pression, à double effet, de 700 millimètres de diamètre; course des pistons 750 millimètres, faisant 85 à 100 tours par minute.

En travaillant avec une pression de 10 atmosphères au petit cylindre, avec condensation et à 85 tours, la machine développera, avec une admission de 10, 20, 30, 50 %, un travail de 62, 78, 100, 120 chevaux effectifs.

Le premier cylindre est amovible, et, pour pouvoir le démonter facilement, il peut être posé sur des galets, de manière à pouvoir le retirer aisément sur des rails. C'est un travail facile, semblable à celui des foyers amovibles des chaudières tubulaires. Pour ce but, on n'a qu'à interrompre la communication aux conduites de vapeur pendant que toute la distribution du cylindre reste intacte, grâce au manchon d'accouplement sur l'arbre de distribution.

Les trois pistons ne forment qu'une seule pièce, et, pour éviter les pertes de vapeur du cylindre à haute pression à celui à basse pression, on a admis dans cet endroit une double garniture d'anneaux. L'effort sur le piston dans ces machines n'est pas aussi régulier qu'aux machines de construction normale, où les forces sont les mêmes en avant et en arrière; mais, en augmentant le poids du volant, on obtient une marche satisfaisante, surtout en portant encore au maximum le nombre de tours que la distribution à soupapes permet.

Le volant, très lourd, porte cinq gorges pour courroies.

La machine, construite d'après ce principe, n'est munie que d'une manivelle, d'une bielle, d'une crosse, d'une tige de pistons, d'un seul corps de pistons avec trois pistons et un seul presse-étoupe pour la tige des pistons, et, au lieu de douze soupapes pour les trois cylindres, on n'en a que huit, dont une seule reçoit

le mouvement variable par le régulateur, tandis que les sept autres sont actionnées par des cames.

Les trois cylindres sont munis d'enveloppe; le passage du premier au second se fait par un tuyau, tandis que celui du second au troisième se fait directement, le second et le troisième cylindre étant coulés d'une seule pièce.

Cette machine est certainement une des plus originales de l'Exposition, par sa conception ingénieuse et son mode de construction; mais, avant de nous prononcer sur sa valeur économique, nous attendrons les résultats de la pratique, étant donné que les fuites des segments des pistons dans une telle machine arrivent à troubler considérablement sa marche et à occasionner des dépenses élevées de vapeur; enfin, que les difficultés de montage et de démontage puissent se montrer dans la pratique et venir balancer les avantages incontestables d'avoir une seule tige, un seul presse-étoupes, etc.

Machine verticale à triple expansion

La maison Sulzer expose en outre une autre machine à triple expansion.

Cette machine, du type extérieur de machine-pilon de bateau, a pour dimensions principales :

Diamètre du cylindre à haute pression	400 m/m
» » moyenne pression	600 m/m
» » basse » 	900 m/m
Course des pistons	600 m/m
Nombre de tours par minute.	100 à 125

En travaillant avec une pression de 10 atmosphères, au petit cylindre, avec condensation et à 125 tours par minute, la machine développera, avec une admission de 20, 30, 40 %, un travail de 240, 300, 370 chevaux *effectifs*.

Contrairement à ce qui a été dit pour les machines horizontales à triple détente, cette machine représente le type d'un moteur de grande puissance, et, d'après MM. Sulzer, celle exposée représente le modèle le plus petit de ce type; aussi la machine est munie de tout ce qui est nécessaire pour un grand moteur, comme : système très complet de graissage automatique, appareil vireur à vapeur, etc.

Le type vertical puissant a sans doute l'avantage de supprimer l'influence des poids des pistons; mais, quant à la stabilité et à l'accessibilité de tous ses organes, il est certain qu'il n'est pas aussi pratique que celui des machines hori-

zontales, quoique l'on soit arrivé dans le cas présent, à avoir les meilleurs résultats possibles.

L'inclinaison des colonnes d'avant, par exemple, augmente beaucoup la solidité.

La construction de la machine exposée permet au mécanicien de surveiller toutes les pièces, sans être obligé de monter des escaliers, plates-formes, etc., pour le service normal.

Pour arriver à ce but, tous les mouvements de la distribution, par exemple, se font du côté inférieur des cylindres; il n'y a rien à surveiller au-dessus de ces derniers, si toutefois il ne s'agit que d'une réparation, comme, par exemple, de sortir un piston, une soupape, etc.

Cette machine a cela de particulier, qu'elle a la soupape comme moyen exclusif de distribution, c'est-à-dire que toutes les soupapes ferment vers le bas, et que leur propre poids, joint à une légère pression de la vapeur, garantissent la fermeture étanche. Il est vrai que, par cet arrangement, il résulte une augmentation de l'espace nuisible, pour certaines soupapes, mais principalement pour les machines à triple détente, où la compression atteint facilement la pression initiale; cette question de l'espace nuisible ne joue pas un rôle dominant.

Les trois cylindres sont disposés de façon à avoir celui à basse pression au milieu, et cela pour obtenir une disposition symétrique et pour mieux pouvoir y placer la pompe à air et celle d'alimentation actionnées à l'aide d'un balancier, etc. Par cet arrangement, les poids des trois pistons s'équilibrent exactement en agissant sur les trois manivelles disposées à 120° .

Cette disposition des cylindres est d'autant plus adoptable que MM. Sulzer ont renoncé tout d'abord à l'application des passages directs d'un cylindre à l'autre, sans tuyautage intermédiaire, ayant trouvé que de tels joints auraient couru trop de risques. Ils ont donc préféré appliquer deux tuyaux dont les joints peuvent être facilement accessibles en cas de besoin, et par conséquent, une fois les tuyaux appliqués, il n'y avait pas de raison de disposer les cylindres suivant l'ordre de détente, disposition qui n'aurait pas été favorable, surtout en vue de l'aspect extérieur.

Les trois cylindres sont supportés d'un côté par des bâtis soutenant les glissières, et de l'autre par de puissantes colonnes fixées d'une manière très solide à la plaque de fondation. Cette dernière, coulée d'une seule pièce, renferme les quatre coussinets principaux pour l'arbre de couche à trois coudes, lequel, comme d'habitude pour les machines marines, est du type composé; les deux parties extérieures reposent chacune sur deux coussinets, pendant que le coude du milieu est boulonné aux deux autres par de fortes brides.

Les axes de toutes les soupapes (à l'exception de celles supérieures au grand cylindre) sont disposés dans un seul plan vertical qui est parallèle aux axes des cylindres, et aussi près que possible de ceux-ci. L'arbre de distribution étant

placé dans le même plan, actionne directement toutes les soupapes par des cames, à l'exception des deux soupapes d'admission du cylindre à haute pression, lesquelles sont mises en mouvement par un mécanisme à déclié très simple, mais

spécialement adapté à un grand nombre de tours. Dans cette intention, on a suivi la disposition dont nous joignons le schéma du mouvement de distribution adopté pour la machine exposée en 1878, l'ouverture des soupapes d'entrée se faisant presque sans choc, pas trop vite, et réduisant le plus possible l'influence des masses en mouvement.

Avec un coussinet d'air, lequel, comme auprès de toutes les soupapes d'admission Sulzer, adoucit la fermeture, et, grâce à toute la disposition et les dimensions de ce mouvement, cette machine peut donner jusqu'à 125 et 140 tours par minute.

L'arbre de la distribution est logé dans une espèce de tuyau, qui est rempli d'huile jusqu'à une certaine hauteur, de manière que

toutes les cames y plongent. Le renouvellement de cette huile fait partie du système central de graissage.

Le régulateur construit pour grande vitesse sert en même temps pour transmettre le mouvement de l'arbre de couche à celui de distribution.

Le graissage central est desservi par une petite pompe rotative qui est placée à l'intérieur de la plaque de la fondation, assez bas pour que toutes les huiles des paliers, etc., etc., y retournent d'elles-mêmes, de façon à pouvoir être refoulées en haut sans que la pompe doive vaincre une hauteur d'aspiration.

Le vireur à vapeur est disposé symétriquement au régulateur, et transmet le mouvement directement à l'arbre de couche par des engrenages mobiles.

Tous les organes de la machine sont disposés de façon à permettre de pro-

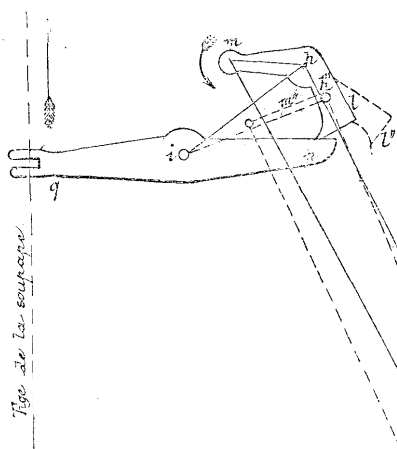


Fig. 25. La soupape.

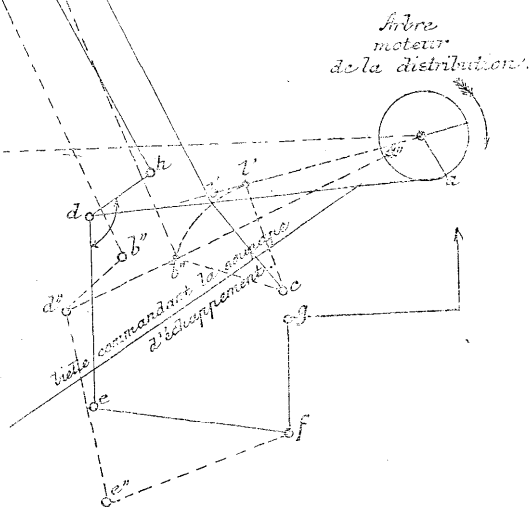


FIG. 26

longer l'arbre de couche d'un côté ou de l'autre, ou des deux, ainsi que de placer des volants ou des poulies tout près des paliers extérieurs de la machine même.

Le volant en fonte, très puissant, est en deux pièces, et porte dix gorges pour les câbles.

Le condenseur a sa pompe actionnée par un balancier prenant son mouvement sur la crosse du piston du milieu.

Dans ces deux machines nouvelles, la maison Sulzer soutient sa haute réputation, et, à part les réserves faites au début sur la soupape employée comme distributeur, on ne peut qu'approuver les recherches de l'ingénieur mécanicien, qui tendent à la production du cheval vapeur, avec la plus faible quantité de vapeur possible. Quant à l'exécution matérielle des diverses machines exposées par la maison Sulzer, elle est parfaite.

Machine Willans à triple expansion

(Planches 75-76).

Cette machine, dont nous ne connaissons pas de spécimen en France, a plusieurs applications en Angleterre, soit dans des mines, soit dans des usines électro-vatoires.

Elle se compose de trois cylindres superposés, le plus petit, à haute pression, étant à la partie supérieure. La pression initiale de la vapeur est de 10 kilogrammes.

La tige commune des pistons est un fourreau percé d'orifices; ces orifices constituent les lumières d'admission et d'échappement, qui sont alternativement ouvertes et fermées par un distributeur central.

Ce distributeur central se compose d'une tige portant une série de pistons obturateurs, *a, b, c, d, e, f*, dont le mouvement de va-et-vient est donné par un excentrique.

Cette machine est à simple effet, de haut en bas. Le relèvement des pistons a lieu sous l'action du volant *V*, et, sous l'action de l'air comprimé dans un cylindre spécial *C*, par les têtes de bielles qui forment piston, de sorte qu'on a une pression constante sur les bielles.

La machine fonctionne de la manière suivante : au commencement de la course descendante, le piston *f* se présente au-dessous des orifices *g*, et permet l'admission de vapeur dans le cylindre à haute pression; en raison des mouvements relatifs, *f* ferme ces orifices quand le piston a effectué les $\frac{3}{4}$ de sa course,

mais la suppression d'introduction de vapeur est effectuée plus tôt, parce que les orifices 10 quittent la chambre de vapeur en passant à travers le collet permettant à la tige du piston d'aller d'un cylindre à l'autre. On peut d'ailleurs obtenir la détente au point voulu de la course en changeant la position des orifices 10 ou en modifiant la hauteur du collet.

La vapeur agit ensuite en se détendant dans le cylindre à haute pression ; le piston arrive alors à l'extrémité de sa course, et l'obturateur *f*, passant au-dessus des orifices 9, alors que *e* ferme d'une façon permanente la communication entre les orifices 8 et 7, la vapeur peut pénétrer au-dessous du piston, dans ce qu'on appelle le premier récepteur *R'* ; pendant la course ascendante, obtenue par le mouvement du volant, la vapeur ne change ainsi ni de volume, ni de pression ; elle pourrait être mise en communication avec l'atmosphère pour permettre l'échappement, ce qui donnerait un cycle complet de machine à simple effet.

Mais, comme il s'agit d'un fonctionnement à triple expansion, au commencement de la course suivante, la vapeur passe du récepteur par les orifices 7 dans la tige creuse, et de là par ceux marqués 6 dans le cylindre intermédiaire, jusqu'à la suppression d'admission produite par le passage des orifices 7 à travers le collet du cylindre.

Dans la course ascendante qui suit, la vapeur passe par les orifices 6 et 5 dans le second récepteur *R''* ; dans la course descendante, elle pénètre dans le cylindre à basse pression par les orifices 4 et 3 ; enfin, lorsque le piston remonte, elle va par 3 et 2 dans la chambre d'échappement *E* communiquant avec l'atmosphère. Il faut donc trois révolutions complètes entre l'admission et l'échappement. La pression de la chaudière agit constamment sur l'obturateur marqué *g* ; la bielle d'excentrique est ainsi maintenue aussi bien dans la course ascendante que dans la course descendante.

Pour les pistons, c'est un cas différent ; ils sont beaucoup plus lourds, et, pendant la course ascendante, il y a équilibre entre les pressions qui s'exercent en dessus et en dessous, puisqu'à ce moment la communication est établie.

On pourrait faire figurer dans ce chapitre plusieurs des machines à grande vitesse que nous décrirons plus loin, soit comme compound ordinaires, soit comme compound à triple expansion, par exemple, pour la machine Weyher et Richmond.

Nous devons aussi mentionner la machine construite par M. Powell de Rouen, qui est à quatre cylindres et peut marcher à triple et quadruple détente.

Nous décrivons plus loin, dans les machines horizontales à grande vitesse, une machine compound Armington et Sims.

MACHINES HORIZONTALES A GRANDE VITESSE

Machines Armington et Sims

exposées par la Société Alsacienne de constructions mécaniques

(Planches 77-78)

Les trois machines à grande vitesse exposées par la Société alsacienne sont toutes construites d'après le type Armington et Sims de Providence (Etats-Unis), dont elles représentent trois variantes.

L'une est la machine normale pour éclairage électrique.

C'est une machine de la force effective de 100 chevaux ayant les dimensions principales suivantes :

Diamètre du cylindre à vapeur	370 m/m
Course du piston	380 m/m
Vitesse par minute	250 tours

Ce type convient de préférence pour la commande directe, par courroies, de dynamos marchant à grande vitesse. Il est beaucoup employé dans les installations particulières d'éclairage électrique et a été adopté dans plusieurs stations centrales. Cette machine est autrement robuste : le bâti, de formes compactes, est posé sur un châssis en fonte, remplaçant la partie de la fondation qui d'ordinaire dépasse le sol, et porte, venus de fonte, deux paliers de fortes dimensions pour l'arbre coudé. Les glissières sont planes. Une poulie-volant est montée sur chaque extrémité de ce dernier. Cet arbre coudé a une disposition particulière. Les deux bras de l'essieu sont circulaires et portent deux plateaux en fonte, excentrés par rapport aux bras de l'essieu, mais concentriques à l'arbre, portant les masses équilibrant les pièces en mouvement. Ces deux plateaux sont posés à chaud sur l'essieu.

A l'une des extrémités de l'arbre se trouve l'excentrique de distribution sur lequel nous reviendrons plus loin.

Le régulateur Armington est placé dans l'une des poulies-volants.

La seconde machine de la force de 75 chevaux a les dimensions principales suivantes :

Diamètre du cylindre.	360 m/m
Course du piston	610 m/m
Vitesse par minute	150 tours

C'est le type qui convient pour les installations industrielles. La machine a plus de course et fait moins de tours.

Le bâti, en forme de baïonnette, n'est plus double comme le précédent : il a un seul palier moteur; l'arbre n'est plus coudé; son extrémité est portée par un palier spécial.

Le bâti est toujours très rigide, mais se rapproche des formes des machines ordinaires.

La troisième machine est une compound de la force de 150 chevaux effectifs.

Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre de cylindres	480,330
Course des pistons	300 m/m
Rapport des volumes	2,11
Vitesse par minute	255 tours

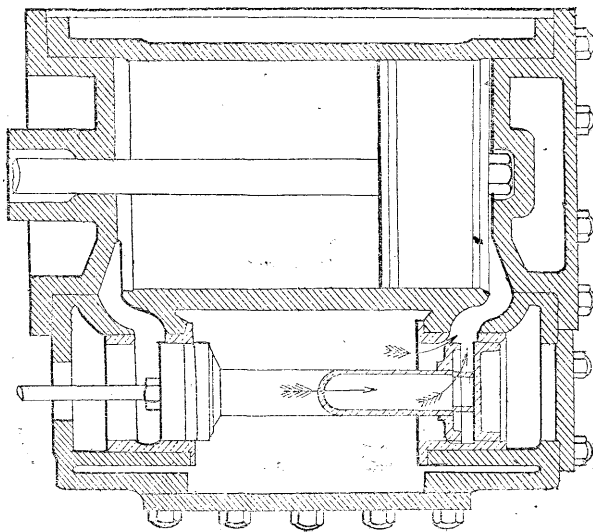


FIG. 27

C'est le type qui convient pour les installations d'éclairage électrique d'une certaine importance. Sa disposition générale rappelle celle de la première machine. Celle exposée est disposée pour conduire une forte dynamo, placée directement sur l'arbre moteur.

La partie la plus intéressante de ces trois machines c'est leur distribution et leur régulateur.

La boîte à vapeur est venue de fonte au cylindre. Elle renferme un tiroir piston dont la disposition est indiquée par la figure 22. La vapeur arrive au centre de la boîte par un tuyau à large section, l'échappement se fait par les extrémités. Lorsque l'une des arêtes intérieures du tiroir ouvre à l'admission l'orifice d'entrée, l'autre bout du tiroir entre dans la boîte, de sorte que la vapeur trouve deux passages d'entrée au cylindre. Les ouvertures sont, de la sorte, doublées; aussi malgré la grande vitesse du piston, les diagrammes n'indiquent aucun laminage de vapeur à l'admission. En outre, cette disposition réduit la course du tiroir et, par conséquent, les dimensions de tous les organes de distribution.

Le tiroir est commandé par un excentrique placé sur l'arbre moteur et muni du régulateur Armington que nous avons décrit.

Machine Lecouteux et Garnier horizontale à grande vitesse

(Planches 79-80)

La machine Corliss ordinaire a été modifiée de façon à permettre les grandes vitesses avec quatre distributeurs, et dans ce but, MM. Lecouteux et Garnier ont supprimé le déclenchement, disposition que nous trouverons également appliquée à la machine Frikart compound tandem que nous décrirons plus loin.

Ces machines employées à la station municipale d'électricité installée sous les Halles centrales développent chacune 170 chevaux à 180 tours par minute et avec 7 kilogrammes de pression.

Ces machines ont des glissières à section triangulaire et les patins des crosses sont garnis en métal antifricition.

Le graissage employé pour ces machines est le graissage Stopfer.

Le régulateur à force centrifuge agit par l'intermédiaire de la barre d'excentrique sur les deux tiroirs d'admission de vapeur. Les deux tiroirs d'échappement sont commandés par un second excentrique indépendant du premier.

La course des tiroirs d'admission est réglée par la course variable de l'excentrique du régulateur.

En outre de ce régulateur, pour les stations d'électricité, cette machine possède un régulateur détendeur qui agit sur la pression dans la conduite d'amenée de vapeur et dont le but est le suivant :

Le travail d'une station centrale d'électricité étant essentiellement variable fallait prévoir que les moteurs travaillant normalement et même chargés au maximum pouvaient être instantanément déchargés de tout ou de la plus grande partie de leur travail; ou réciproquement que les moteurs marchant à vide pouvaient être brusquement chargés.

Ces coups si rapides, surtout quand il s'agit d'électricité, devaient avoir pour conséquence de provoquer un ralentissement ou un accroissement de vitesse sensible, désagréable, et par dessus tout nuisible à la conservation du matériel électrique, des lampes à incandescence en particulier. Il fallait donc rendre aussi insensibles que possible les variations de vitesse des moteurs tout en permettant l'action du régulateur basée sur ces variations mêmes. Or cette action est retardée par le frein modérateur et c'est pour annuler ce retard qu'on a placé un régulateur n'agissant alors que sur la pression du régulateur centrifuge.

Le second régulateur, appelé régulateur-détendeur, ressemble aux régulateurs ordinaires à boules et remplit deux fonctions particulières et indépendantes de celle du régulateur principal de détente : 1° il doit créer une différence de pression constante entre la boîte à vapeur et la conduite d'amenée ; 2° il doit empêcher toute variation brusque de vitesse du moteur en donnant le temps au régulateur principal de prendre la position d'équilibre correspondant à la nouvelle charge. La vitesse de rotation de ce régulateur du type Porter est très grande et sa course est très petite.

Pour une variation d'un seul tour à la machine il peut passer d'un point extrême à l'autre de sa course en occupant successivement toutes les positions intermédiaires.

L'obturateur est installé sur le robinet de prise de vapeur même et se compose d'un anneau monté sur un axe et pouvant tourner sans frottement dans un autre anneau fixe. Des orifices sont percés au travers de chacun de ces anneaux pour le passage de la vapeur, et leur section est calculée de telle sorte qu'à la position de régime du régulateur il y ait une différence de pression réglable à volonté, et que, pour les positions extrêmes les orifices soient ou complètement fermés ou complètement ouverts.

L'axe sur lequel est monté l'anneau n'a pas de garniture pour diminuer le frottement ; la longueur de la petite bielle de commande est variable à volonté pour régler la position de régime de l'obturateur, et un petit contre-poids auxiliaire glissant le long du levier sert à régler la marche normale de l'appareil.

Toutes les précautions étant prises pour que les frottements soient réduits au minimum et que le régulateur fonctionne avec une certitude absolue, on peut dire qu'il est possible d'arriver à maintenir constant le régime de la vitesse du moteur, quelles que soient les variations qu'on lui fera subir, puisque tous les écarts peuvent être annulés en un tour, ce qui représente $1/3$ de seconde pour ces machines marchant à 180 tours par minute.

Malgré l'ingéniosité de cet appareil, nous préférons les autres types à grande vitesse créés par la maison Lecouteux et Garnier où la régularité ne dépend que d'un seul appareil.

Moteur américain « Straight-Line » construit par Steinlen et C^{ie}, de Mulhouse

(Planches 81-82)

Ce moteur à grande vitesse et à cylindre unique présente des particularités de construction fort intéressantes.

Le cylindre monté sur socle a 325 millimètres de diamètre et 450 de course.

La glissière très robuste est supportée par un bâti d'une grande rigidité qui va en s'élargissant jusqu'au support des paliers de l'arbre moteur.

La bielle attaque un maneton placé entre les moyeux de deux volants formant plateaux manivelles.

Le tiroir est équilibré et actionné par un excentrique soumis à l'action d'un régulateur à force centrifuge dont nous donnons le dessin et analogue à ceux que nous avons déjà décrits.

La tête de bielle est du type de celles employées dans la marine. Le graissage des collets du maneton peut se faire de la jante du volant à l'aide d'un canal dirigé selon un rayon du volant C C'.

Le volant à jante creuse est trop faible, mais c'est là un défaut facile à corriger et cette machine donne jusqu'à présent de bons résultats et nécessite peu d'entretien.

MACHINES VERTICALES A GRANDE VITESSE

Machine Pilon, construite par MM. Lecouteux et Garnier

(Planches 83-84)

Ces machines sont construites depuis 600 tours par minute pour des machines de 10 chevaux ayant 120 millimètres de course, jusqu'à 300 tours pour des machines de 150 chevaux ayant 330 millimètres de course ; elles sont spécialement destinées à la lumière électrique.

La planche 83-84 montre leur mode de construction.

Le condenseur est sur le côté et mis en mouvement par une bielle actionnée par l'arbre moteur.

Les glissières sont à section circulaire.

Il y a trois particularités à signaler dans ces machines :

1° Le régulateur à force centrifuge que nous avons déjà décrit au commencement de ce travail, et sur lequel nous ne reviendrons pas ;

2° Le tiroir ;

3° L'arbre-manivelle, qui est en cinq parties.

Le tiroir est composé de deux parties cylindriques distinctes, réunies par une tige en acier, et enveloppées par un segment en fonte élastique garantissant l'étanchéité. La boîte du tiroir, alésée d'abord, est rodée ensuite, de manière à assurer un contact parfait entre la surface et les segments qui, eux-mêmes, sont ajustés à la façon ordinaire. Comme ce tiroir travaille verticalement à très grande vitesse, il a besoin d'être parfaitement équilibré pour que le travail de l'excentrique moteur soit faible. Pour y arriver, le piston supérieur est légèrement plus grand que le piston inférieur, de façon à faire équilibre au poids total des pièces du tiroir.

Le joint de chaque segment est gardé par une barrette en fonte qui relie l'orifice.

L'arbre-manivelle est fait en cinq parties ; c'est avec le régulateur et le tiroir une des particularités de la machine : les deux coudes sont formés de deux plateaux à contrepoids en acier coulé, rapportés à chaud ou à la presse à l'extrémité des deux portions de l'arbre travaillant dans les paliers, et le tourillon qui sert de trait d'union est lui-même rapporté à chaud dans les deux plateaux, après avoir été rodé. Le travail d'assemblage de toutes ces parties doit être fait avec le plus grand soin et au moyen de montages spéciaux qui en assurent la précision. Les avantages de ce mode de construction sont assez grands pour qu'on l'ait adopté, en prenant toutes les précautions nécessaires. Il permet, en effet, de tremper et rectifier sans danger les fusées de l'arbre et le manneton, c'est-à-dire les parties soumises aux plus grands efforts, et susceptibles d'usure, et aussi d'équilibrer rigoureusement le poids des pièces au moyen des évidements réservés dans les plateaux-manivelles dans lesquels on coule du plomb. L'une des conditions les plus importantes à réaliser dans les machines à grande vitesse, c'est l'équilibre aussi parfait que possible des pièces en mouvement. Il n'y a pas d'autre cause, quelquefois, aux défauts de fixité et de régularité que les lampes à incandescence accusent avec certaines machines, et aux usures rapides des surfaces frottantes.

L'arbre moteur une fois assemblé est reporté sur la machine à rectifier, qui finit les fusées comme s'il était d'une seule pièce. Ces fusées reposent sur des coussinets garnis de métal blanc, comme le maneton dans le coussinet de la

bielle, de sorte que toutes les surfaces en contact qui travaillent et fatiguent le plus, étant convenablement lubrifiées, composées d'une part d'acier trempé et rectifié, et d'autre part, de métal blanc, n'offrent que peu de résistance au frottement. Par suite, les craintes d'échauffement sont diminuées et l'usure est réduite au minimum.

La Maison Leconteux et Garnier construit également des machines horizontales semblables dans tous leurs détails à celle que nous venons de décrire.

Ces machines sont adoptées quand la disposition des locaux l'exige. Deux de ces machines sont employées à l'une des stations d'électricité situées sur la berge de la Seine, à l'Exposition ; elles sont de 150 chevaux chacune.

Ateliers de construction d'Oerlikon (près Zurich)

(Planches 85 à 88)

Les machines exposées par les ateliers d'Oerlikon sont fort remarquables au point de vue de leur construction toute spéciale, à cause de leur grande vitesse.

Ces machines, du système Hoffmann, sont verticales, ce qui permet d'avoir un faible emplacement, un piston avec une seule tige, etc. L'arbre, horizontal à manivelles, est soutenu par une série de paliers ; il est en deux parties, reliées par des plateaux boulonnés.

L'inconvénient d'avoir plusieurs paliers en ligne est diminué par ce fait qu'ils font partie d'une seule plaque de fondation très rigide, car ils ne sont pas séparés par des solutions de continuité profondes. De cette façon, l'arbre, très soutenu, ne travaille pas à la flexion.

Le condenseur, sur le côté, est actionné par un excentrique calé sur l'arbre moteur.

La section des glissières est circulaire.

Les pièces en mouvement de la machine ont été allégées le plus possible. Les corps des boutons et les tiges de piston sont percés dans leur axe, afin d'avoir une section minimum égale sur une grande longueur de ces pièces, et d'éviter ainsi des ruptures sous l'action des chocs répétés pendant la marche.

Les pistons sont forgés en acier fondu et sont de forme conique, afin de pouvoir diminuer leur épaisseur.

Les machines exposées sont au nombre de quatre, dont deux sont à examiner plus spécialement. L'une, de 200 chevaux effectifs, faisant 180 tours ; l'autre, de 60 chevaux, faisant 360 tours et actionnant directement une dynamo.

Ces deux machines sont du système Woolf, avec manivelles à 180 degrés et la distribution Hoffmann.

La distribution de la vapeur se fait au moyen de tiroirs cylindriques commandés par les bielles d'excentriques, à l'aide d'une seule articulation.

Les cylindres à haute pression ont deux tiroirs concentriques l'un dans l'autre.

Le tiroir extérieur détermine le mouvement d'admission de la vapeur et son échappement ; le tiroir intérieur, le point de commencement de la détente. C'est donc un tiroir de Meyer transformé en tiroir circulaire.

L'épure donne, par le tracé de Zeuner, les diverses phases d'admission obtenues avec ce tiroir.

Le tiroir intérieur du cylindre à haute pression agit sur la détente au moyen d'un régulateur à force centrifuge analogue à celui que nous avons décrit dans la première partie de ce travail : Armington, Lecouteux et Garnier, mais présentant certaines particularités intéressantes dans la disposition de l'excentrique mobile, dans l'emploi d'un seul ressort antagoniste qui agit avec des forces égales sur les deux masses centrifuges.

Les dimensions de la machine Woolf de 200 chevaux sont les suivantes :

Nombre de tours.	180
Diamètre du petit cylindre.	400 m/m
— grand cylindre.	600 »
Course.	450 »

Machine de 60 chevaux :

Diamètre du petit cylindre.	200 m/m
— grand cylindre.	300 »
Course.	250 »
Nombre de tours.	360

Le fonctionnement de ces machines est irréprochable et se fait sans aucun choc ni aucun bruit de vibration.

Machine à triple expansion de la Maison Weyher et Richemond

Ces machines ont été étudiées en vue de développer une grande puissance sous un très petit volume ; elles fonctionnent sans bruit ni trépidations ; le régulateur est extrêmement sensible ; une disposition spéciale permet d'obtenir toutes les variations de vitesse que l'on désire. Le système à triple expansion, les distributeurs équilibrés, les condenseurs à pulvérisation d'eau, les pompes à air à

fourreaux et à clapets étagés réduisent au minimum la dépense d'eau et de charbon.

Ces moteurs sont combinés pour commander directement les dynamos à l'aide d'une seule courroie et sans transmission intermédiaire, et c'est une des machines qui se sont le plus répandues dans ces installations : Hippodrome, Châtelet, Station Edison, Opéra, Palais-Royal, etc.

Le bâti porte à sa partie supérieure les cylindres superposés et formant un ensemble parfaitement rigide et indéformable. La partie inférieure reçoit l'arbre moteur à manivelles équilibrées placées sous un angle de 90 degrés.

Le devant de la machine étant entièrement libre, tous les organes sont facilement accessibles.

Les cylindres sont à enveloppe de vapeur et munis de soupapes permettant l'évacuation très rapide de l'eau accidentellement entraînée ou condensée.

La distribution se fait par quatre tiroirs équilibrés, d'une étanchéité parfaite, et disposés pour réduire les espaces nuisibles à leur minimum, tout en donnant de larges passages à la vapeur.

Le régulateur se compose d'une boîte circulaire fermée, dans laquelle se meuvent, sous l'action de la force centrifuge, des masses rappelées vers le centre par des ressorts puissants. Une disposition spéciale permet de régler l'action de ces masses de façon à obtenir toutes les variations de vitesse que l'on désire.

Le compensateur Denis assure l'indépendance des positions relatives du régulateur et de l'admission. Le condenseur, distinct de la machine, est actionné par un moteur spécial attaché sur le flanc de la pompe à air. Il est formé par une vaste cloche cylindrique à la base de laquelle se trouve une coupe de bronze ; au centre de cette coupe, un orifice circulaire laisse échapper une lame d'eau très mince qui vient se pulvériser sur les parois inclinées de la coupe. La cloche se remplit d'un brouillard qui condense instantanément la vapeur. L'eau nécessaire à la condensation est ainsi réduite à environ 180 litres par cheval et par heure.

La pompe à air est à deux cylindres, à fourreau en bronze, à clapets étagés. Le graissage des pièces est bien assuré par des dispositions à genouillère spéciale.

Nous décrivons ici le compensateur Denis, qui est appliqué par la Maison Weyher et Richemond à toutes les machines qu'elle construit. L'appareil Denis, dit compensateur, adapté à un régulateur ordinaire à force centrifuge, supprime d'une manière absolue l'intervention de la main du mécanicien pour conserver au moteur à vapeur une vitesse rigoureusement constante dans toutes les conditions de résistance et de puissance.

La plupart des régulateurs ont l'inconvénient d'être reliés d'une manière invariable avec l'organe, détente ou papillon qui modifie l'arrivée de la vapeur. Il en résulte que chaque variation dans la quantité de vapeur introduite est la

conséquence de la variation de position du régulateur, ce qui amène nécessairement une variation de vitesse dans la machine.

On a essayé de remédier à cet inconvénient capital par un grand nombre de dispositions souvent ingénieuses, mais, quoique l'on soit parvenu à réaliser de grandes améliorations, on doit, dans la pratique, régler de temps en temps les régulateurs.

Au contraire, le mécanisme compensateur Denis, ajouté à un régulateur ordinaire à force centrifuge, tout en laissant à ce dernier son principal mérite, l'action instantanée, lui permet de revenir de suite à sa position normale, en laissant le papillon ou la détente dans la situation où il les avait amenés pour parer à la variation de résistance ou de puissance. On comprend que cet effet se produisant en toutes circonstances, la vitesse du moteur ne peut aucunement varier. Le mécanisme compensateur est entièrement indépendant du régulateur lui-même, auquel il laisse toute sa liberté et son instantanéité d'action ; cette circonstance permet de l'appliquer toujours facilement à une machine existante, déjà pourvue d'un régulateur ordinaire.

La planche 89-90 donne le détail du régulateur et son application à des machines locomobiles et mi-fixes et à des machines à détente variable par régulateur.

1° Le levier *a* du régulateur centrifuge *b* actionne le levier *c* du papillon par l'intermédiaire de la tringle *d*, dont la partie supérieure filetée traverse un écrou en bronze couissant dans la chape qui termine le levier du papillon.

Le point de suspension du haut de la tringle lui permet de tourner librement sur elle-même ; sa partie inférieure se termine par un toc *e* à quatre ailettes, glissant dans les douilles alésées des deux roues d'angle *f*, *g*. Chacune de ces douilles porte une clavette intérieure en saillie, les deux clavettes laissant entre elles un espace libre égal à l'épaisseur des ailettes du toc.

Les deux roues *f*, *g*, reçoivent leur mouvement de rotation en sens inverse l'une de l'autre du pignon *h* calé sur l'arbre horizontal *i*, lequel est actionné lui-même par la vis sans fin terminant l'extrémité de l'arbre *m* qui donne le mouvement au régulateur.

Sur le dessin, le régulateur est figuré dans sa position moyenne correspondant à la vitesse normale de la machine ; on voit que, dans ce cas, le toc placé juste entre les deux clavettes n'est entraîné ni par l'un ni par l'autre.

S'il se produit une variation dans les résistances opposées à la machine, le régulateur va immédiatement changer de position et le toc viendra en prise avec l'une ou l'autre des clavettes qui l'entraînera dans le sens de son mouvement de rotation.

Il en résulte que la tringle filetée montera ou descendra suivant les cas, dans l'écrou en bronze du levier du papillon et permettra ainsi au régulateur de reve-

nir de suite à sa position normale sans modifier le degré d'ouverture auquel il avait amené le papillon.

Le régulateur étant revenu à sa position moyenne, il est évident que la vitesse de la machine est exactement la même qu'auparavant.

2° Le levier *a* du régulateur *b* actionne la came de détente *c* par l'intermédiaire de la tringle *d* dont la partie inférieure filetée fait office de crémaillère sur la roue dentée *e* calée sur l'arbre de la came.

Le point de suspension de la tringle lui permet de tourner librement sur elle-même, et, ainsi que dans le cas précédent, un système de roues d'angle *f, g*, commandées par un pignon *h* est disposé pour faire tourner la tringle dans un sens ou dans l'autre dès que le régulateur s'écarte de sa position moyenne correspondant à la vitesse normale de la machine.

Si donc une variation se produit dans la résistance, le régulateur va immédiatement changer de position et la partie filetée de la tringle agissant comme crémaillère sur la roue *c*, mettra instantanément la came de détente dans la position voulue; au même moment, la tringle tourne entraînée par l'une ou l'autre des roues *f, g*, sa partie filetée monte ou descend, suivant les cas, sur les dents de la roue *e* formant écrou, permettant ainsi au régulateur de revenir à sa position normale sans modifier celle qu'il vient de donner à la came pour parer à la variation de résistance; et, par suite, il est évident que la vitesse de la machine est exactement la même qu'auparavant.

Les machines proposées pour actionner directement par courroie les dynamos, sont du type vertical à triple expansion et à condensation.

La vapeur à la pression de 10 kilogrammes, agit dans un premier cylindre — dit petit cylindre — pendant la moitié de la course du piston, puis se rend, après avoir doublé de volume, dans un deuxième cylindre — dit moyen cylindre — où elle continue à se détendre, et enfin dans deux autres cylindres à basse pression où s'achève l'expansion.

Le petit et le moyen cylindre sont disposés en tandem sur les grands. Le rapport du volume introduit au volume échappé est de $1/12^e$.

Les tiroirs de distributions des deux premiers cylindres sont cylindriques, munis de segments et complètement équilibrés. Des fourreaux en fonte dure, rapportés dans les cylindres et percés d'orifices à chaque extrémité pour le passage de la vapeur, font l'office de tables de distribution des tiroirs.

Les tiroirs des grands cylindres sont plans et à doubles orifices pour en réduire la course. Ces tiroirs et les précédents sont mûs par des excentriques circulaires au nombre de deux, calés sur l'arbre des manivelles, et par l'intermédiaire de mouvement de balancier, de manière à compenser les poids sur les extrémités des dits balanciers.

Les boîtes à étoupes des tiges de piston et des tiges de tiroirs ordinairement employées, sont ici remplacées par des boîtes à garniture métallique.

L'arbre moteur est composé de deux vilebrequins à plateau, réunis par des boulons. L'angle formé par les manivelles est de 90° .

Les pistons communiquent leur mouvement aux manivelles de l'arbre moteur par l'intermédiaire de tiges reliées par des écrous aux coulisseaux des glissières, et de bielles à fourche. Les coulisseaux sont en bronze et leur axe d'articulation en fer cimenté et trempé. Les tiges de piston sont en acier fondu. Les bielles motrices ainsi que leurs chapeaux et boulons et les arbres moteurs sont en acier.

Les articulations sont toutes garnies de coussinets en bronze dur ou de bagues en fer cimenté et trempé présentant de grandes surfaces de frottement.

Les cylindres à vapeur sont à enveloppe avec circulation de vapeur. Ils sont recouverts d'une couche de matière isolante maintenue par une enveloppe en tôle.

Des soupapes à ressort sont disposées à chaque fond et couvercle de cylindre pour éviter les accidents produits par l'eau entraînée dans les conduites.

Les diverses parties de la machine sont supportées par un bâti en fonte et des colonnes en fer laissant un accès très facile des organes pour le démontage et le graissage.

La lubrification des cylindres et tiroirs se fait au moyen d'un oléomètre — à goutte visible — placé sur l'arrivée de vapeur.

Le graissage des diverses parties frottantes se fait au moyen de godets, munis de couvercles à vis pouvant se serrer à la main pendant le fonctionnement de la machine. Ces godets contiennent de la graisse pour une marche de douze heures.

L'arbre moteur porte à chaque extrémité une poulie volant qui reçoit la courroie de commande de la dynamo.

Un de ces volants contient le régulateur de vitesse. Ce régulateur est composé de deux masses en fonte réunies par des ressorts spirales en acier, dont l'écartement plus ou moins grand sous l'influence de la force centrifuge, produit le mouvement d'une tige verticale qui actionne la valve placée dans le canal d'arrivée de vapeur.

Le régulateur, vu le poids des masses, est d'une grande sensibilité et énergie. Il est constamment ramené à sa position moyenne correspondante à la marche normale de la machine par l'effet d'un compensateur — système Denis — qui est placé sur le trajet de la tige verticale qui commande la valve.

Ce compensateur reçoit son mouvement de la machine elle-même.

L'écart dans le nombre de tours n'est pas de plus de $1/200^\circ$ de celui qui correspond à la vitesse de régime.

Un robinet à soupape pour la prise de vapeur et un robinet à valve pour l'échappement, permettent de marcher avec un moteur quelconque ou de l'isoler des autres machines en service.

Deux escaliers et une passerelle en fer formant galerie donnent accès à la partie supérieure des moteurs.

Cette machine fonctionne d'une manière absolument parfaite et est d'une construction très soignée.

C'est un des meilleurs types à recommander pour les installations d'électricité.

MACHINES COMPACTES

Machines Westinghouse

(Planche 91)

Les cylindres AA et la chambre des tiroirs B sont fondus d'une seule pièce et boulonnés sur le logement ou boîte à manivelle C. Les couvercles de cylindre *a, a*, ferment les extrémités supérieures des cylindres seulement ; les parties inférieures sont découvertes et ouvrent directement dans la chambre de la boîte à manivelles.

Les pistons D, D, sont en forme de manchon à double fond dans le haut, pour empêcher la condensation ; ils sont ouverts dans le bas et munis de goujons en acier cimenté, *b, b*. Ils sont garnis de quatre segments.

Les bielles motrices, F, F, sont creuses avec nervures, et ne peuvent subir que de la compression ; les manivelles, G, G, en équilibre par des contrepoids *x, x*, le goujon de la manivelle, P, et l'arbre de la manivelle, H, H, sont en acier et peuvent être changés en enlevant le couvercle de la boîte à manivelles, C. L'acier des manivelles est fondu sous pression, il est pur, et l'excellence de sa qualité est démontrée par le fait qu'il peut, étant trempé, servir comme outil sur un tour.

Les coussinets de l'arbre de la manivelle ont la disposition de fourreaux mobiles, *d, d*, garnis de métal blanc antifricition qui est forcé en place sous une pression hydraulique de 23 kil. 650 par millimètre carré.

Une chambre est ménagée dans la bride du fourreau, *d*, entourée par le couvercle *d'*. Dans cette chambre, et tournant avec l'arbre, se trouve l'essuyeur W, qui recueille l'huile quand elle passe sur les coussinets et la renvoie par le tuyau,

e, dans la boîte à manivelles C. Cette disposition rend inutile toute autre lubrification et maintient la machine en parfait état de propreté.

Un siphon de trop-plein, avec chapeau à entonnoir, *n*, empêche toute accumulation d'eau au-dessus du niveau de la conduite, *e*, et en même temps prévient la fuite de l'huile. Ce trop-plein peut être à volonté branché à l'ouverture, O, dans le chapeau-entonnoir. Les colliers, *t, t*, en bronze, forment les coussinets de l'extrémité des manivelles. Des colliers de plomb, *v*, empêchent les manchons coniques d'être trop relevés, ce qui ferait gripper. Un coussinet central K, relie les deux côtés de la boîte à manivelles, et reçoit la poussée des pistons.

Le couvercle, *h*, s'enlève pour permettre l'accès des manivelles.

Le tiroir V est du genre piston, d'une construction perfectionnée, il se compose d'une entretoise, *i, i*, des têtes, *j, j*, en fonte malléable, et des segments, *k, k*, le tout assemblé par la tige et l'écrou, *l*.

Le guide du tiroir, J, remplace un presse-étoupes prévenant l'échappement de la vapeur contenue dans les passages au-dessus. Le guide du tiroir, ainsi que le tiroir et les deux pistons, sont garnis avec des segments simples en fonte.

La tige du tiroir, *m*, est clavetée sur le guide, et tient le tiroir sans serrer entre l'écrou de l'extrémité supérieure et le collier de l'extrémité inférieure, ainsi qu'il est indiqué.

La boîte à manivelles est alimentée d'eau par le tuyau, R, R, et le niveau en est indiqué dans le chapeau-entonnoir du trop-plein précité. L'eau ne peut pas s'élever trop haut, mais on devra avoir soin qu'elle ne s'abaisse jamais jusqu'à disparaître dans l'entonnoir.

Comme quelques-unes de ces machines ont une tendance à laisser échapper lentement l'eau de la boîte à manivelles, l'on a ajouté une conduite de vidange et une soupape, *u*, qui est laissée entr'ouverte, pour drainer les ouvertures d'échappement dans la boîte à manivelles, et maintenir ainsi l'approvisionnement.

Cette soupape ne devra pas être assez ouverte pour permettre à l'échappement de vapeur de passer au travers.

L'huile destinée à la lubrification de toutes les parties internes peut aussi être introduite par la conduite, R, mais il est préférable de maintenir une alimentation constante par les graisseurs, *f, f*, sur les coussinets principaux, assurant ainsi tout d'abord leur graissage, et l'huile est ensuite renvoyée dans la chambre, par les essuyeurs, au profit du bouton de la manivelle et de tous les autres coussinets. Il n'est pas besoin d'autre graissage que celui obtenu par ces graisseurs. Le devant de l'enveloppe cache le réservoir à l'huile, O, qui remplit tout l'espace entre les cylindres et alimente les graisseurs, *f, f*, par les tuyaux cachés et les robinets *l, l*. Une fois le réservoir rempli jusqu'à *q*, il durera longtemps, et toute la lubrification de la machine (excepté les tiroirs et les cylindres qui sont, comme à l'ordinaire, graissés par la prise de vapeur) est ainsi introduite par un seul endroit. Les robinets *l, l* devront rester ouverts pour assurer un écoulement

constant, mais lent, de l'huile dans le graisseur. M et N, sont respectivement les points d'échappement et de prise de vapeur.

Le volant type est une combinaison de la poulie, Z, et du volant, Y, fondus ensemble, de façon que la poulie soit en saillie au-dessus des coussinets principaux, rejetant l'effort de la courroie vers le centre du coussinet, et évitant la vibration de l'arbre.

Le régulateur automatique est analogue à ceux que nous avons décrits précédemment.

Chaque cylindre est à simple effet.

L'admission de vapeur annulaire, p , communique avec le haut d'un cylindre et p' avec le haut de l'autre. La vapeur entrant en M et entourant le tiroir dans la chambre, s, s, est admise alternativement dans le haut de chaque cylindre, attendu que les bords internes du tiroir découvrent les orifices, p , p' , et la compression est réglée par les bords externes du tiroir selon le mode usuel. L'échappement dans le haut de la chambre du tiroir passe dans le tuyau d'échappement à travers la tige creuse du tiroir. Dans la coupe, la vapeur entre par l'orifice, p , et s'échappe en p' .

S'il est convenablement réglé, le régulateur ne fonctionnera pas avant que la machine ne marche à un pour cent de sa vitesse nominale et il aura accompli sa course entière avant que la machine n'ait marché à un pour cent trop vite. Cela donne un écart total de deux pour cent.

Le régulateur agit non seulement sur la vapeur vive, mais aussi bien sur celle de l'échappement. Les lignes pleines montrent l'action sur la vapeur, et les lignes pointillées l'action sur l'échappement. Lorsque la détente est augmentée, la compression augmente, cette résistance n'est pas une perte, attendu que, comme un ressort, elle redonne la majeure partie de la force à la course suivante et maintient la chaleur des surfaces intérieures.

Ces machines consomment environ 15 kilogrammes par cheval et par heure d'après les constructeurs.

Ces machines à grande vitesse, d'une puissance de 100 chevaux effectifs, occupent un espace très restreint et sont fort bien étudiées au point de vue de la résistance des pièces aux grandes vitesses. Elles exigent une exécution parfaite car, malgré la facilité de la visite, dès qu'il y aurait les moindres jeux produits, on aurait des avaries et des arrêts en marche, ce qui est fort préjudiciable pour les stations d'électricité en particulier.

Ce type de machine est assez répandu en Angleterre.

Machines à vapeur à distribution centrale (système Ch. Brown), construites par Weidknecht (Planches 92-93)

Le principe consiste particulièrement dans le système de distribution centrale pour machine compound à simple ou à double effet.

Dans cette série de machines, le cylindre à haute pression occupe une position centrale et son piston agit sur une manivelle centrale ; le cylindre à basse pression, de forme annulaire, embrasse le cylindre à haute pression et son piston commande deux manivelles placées de chaque côté que celle du piston central. Par cette disposition les pistons marchant en sens inverse et les forces vives se compensant mutuellement, on assure à la machine une marche douce et une grande stabilité malgré la vitesse. Les pistons marchant simultanément, mais en sens inverse, il s'en suit que la distribution peut se faire par un seul appareil distributeur, les périodes d'admission et d'échappement étant identiques, sauf de légères différences nécessitées par la différence de la densité de la vapeur dans les cylindres, qui exige des valeurs différentes de compression pour amortir les forces vives des pistons et organes de transmission pour assurer une marche douce.

Le régulateur est dans un volant et agit simplement sur un appareil étrangleur ; l'avantage d'un appareil à détente variable pour la régulation de ces machines compound ne vaut guère, d'après M. Brown, la complication et la dépense qu'elle entraîne. Les volants, au nombre de deux, sont du même poids pour charger également les coussinets, et d'un grand diamètre pour réduire leur poids.

Le principe de ces machines a été étudié dans le but d'obtenir des sections plus grandes des lumières pour l'admission et la sortie de la vapeur des machines compound et aussi de raccourcir le chemin de la vapeur d'un cylindre à l'autre pour éviter les chutes de pression entre les deux cylindres, réduire les pertes par le frottement de la vapeur et diminuer les espaces nuisibles ; les orifices placés sur tout le pourtour du cylindre présentent encore l'avantage que la vapeur se répand simultanément sur toute la surface du piston. De plus, en plaçant le petit cylindre dans le grand, les pertes par radiation nuisible sont réduites au minimum, et par la position du passage dans l'intérieur de la machine, la vapeur perd moins de chaleur et par suite perd moins de pression et moins de force.

Les dessins de la planche 92-93 représentent le principe appliqué à divers types de machines à vapeur compound. Les mêmes lettres indiquent les mêmes organes des diverses machines figurées sur la planche.

Machine à double effet. — Les figures 1, 2, 3 représentent une machine compound à double effet. A, le petit cylindre ; A', le petit piston ; B, le grand

cylindre ; B', le grand piston, de forme annulaire ; CC, espace ménagé entre les parois du petit et du grand cylindre et qui forme le récipient intermédiaire pour la vapeur ayant travaillé dans le petit cylindre avant qu'elle se rende dans le grand par la distribution centrale ; DD tiroirs-pistons formés par deux tiroirs annulaires, un pour chaque extrémité des cylindres, dont le corps supérieur est relié au corps inférieur par les entretoises creuses ; d, d, d , les dites entretoises servant en même temps au passage de la vapeur et de la boîte E à la boîte E'. F et F' chambres pour recevoir la vapeur d'échappement, reliées par les passages g, g , au tuyau d'échappement G ; I, arbre coudé à trois manivelles : i , pour recevoir l'impulsion du petit piston moyennant : bielle, glissières, crosse et tige de piston comme d'habitude ; i', i' , pour recevoir l'impulsion du grand cylindre moyennant deux bielles et leurs accessoires. Cette machine étant à double effet et par suite les efforts sur les articulations des organes de transmission se produisant dans les deux sens deux fois par chaque révolution, il est indispensable que les organes soient bien en vue pour retirer le jeu qui se produit.

L'écart des manivelles i et i' , i'' est de 180° ; i'' , i''' sont deux excentriques qui commandent les tiroirs-pistons D D, moyennant les organes usuels, a, a , lumières circonférencielles du petit cylindre ; b, b' , du grand ; f, f' , des chambres FF ; 1, 1, 2, 2 et 3, 3, garnitures à bagues élastiques des tiroirs D D.

Les bagues 1, 1, règlent l'admission de la vapeur dans le petit cylindre et l'échappement dans le récipient intermédiaire C ; les bagues 2, 2, règlent l'admission de la vapeur du récipient c , dans le grand cylindre ainsi que l'échappement ; les bagues 3, 3, servent à empêcher le passage de la vapeur vive des boîtes EE, à l'échappement f, f .

Dans les positions du petit et du grand piston indiquées sur les figures 1 et 2, la vapeur est admise sous le petit piston par la lumière a , et elle échappe au-dessus par la lumière a , dans le récipient c ; et de là elle est admise au-dessus du grand piston par la lumière b . L'échappement du dessous du grand piston a lieu par les lumières b' en f' , passant par la gorge ménagée sur le corps du tiroir entre les bagues 2 et 3 et ainsi de suite.

Figures 4 et 5 : cylindres de machines à double effet où la paroi qui sépare le petit du grand cylindre annulaire, se fait par deux corps cylindriques dont le tiroir-piston est composé, les flèches indiquent le jeu de la vapeur.

Les dimensions d'une machine à double effet sont les suivantes (fig. 1, 2, 3) :

Petit piston : diamètre	320	section	0 ^m ,0804
Grand » »	660-840	»	0 ,2120
Course des pistons			0 ^m ,300
Rapport de détente			0,18
Nombre de tours			250
Pression de la vapeur			6 kil.
Force en chevaux			100
Encombrement de la machine			2 ^m ,000 sur 1 ^m ,250

Machine à simple effet. — Ces machines sont du type dit *Box engine Type*, où les organes de transmission sont enfermés dans une caisse ou boîte qui contient la matière lubrifiante dans laquelle plongent les manivelles qui, par leur rotation, produisent un fort remous assurant la lubrification très abondante de tous les organes en mouvement ; un purgeur automatique débarrasse continuellement ce bain lubrificateur de l'eau de condensation qui pourrait passer par les pistons.

Ce type de machine est destiné à marcher à grande vitesse et pendant des périodes prolongées sans arrêt et où l'application des moyens ordinaires de lubrification est impossible.

Cet avantage de pouvoir marcher pendant des périodes prolongées sans arrêt résulte encore du mode de fonctionnement des machines à simple effet, car tous les organes de transmission recevant la force toujours dans le même sens, et pendant les intervalles où ils n'agissent pas, les pistons travaillent à la compression, il s'en suit que les articulations sont toujours en contact dans le même sens, de sorte que l'allure de la machine reste douce malgré le jeu produit par l'usure des organes. A la rigueur, la moitié des coussinets, du côté où ils ne reçoivent pas d'effort, pourrait être supprimée ou réduite de largeur, ce qui diminue le frottement et assure un effet utile un peu plus grand.

On voit par ce qui précède que ces machines peuvent marcher longtemps sans qu'on soit obligé de réajuster les coussinets.

Les figures 6, 7 et 8 représentent une machine compound à simple effet et sans condensation.

Le tiroir-piston de cette machine, placé dans le prolongement du petit cylindre est divisé en deux parties, à savoir : la partie supérieure D avec garniture élastique 1, 1, réglant l'admission de la vapeur au petit cylindre par la lumière *a* ; de là, la vapeur se rend par les passages *d*, *d*, ménagés dans le corps de la partie inférieure du tiroir-piston D' au petit cylindre ; D' est muni de trois garnitures élastiques 2, 2, 3, 3 et 4, 4 ; 2, 2 règle l'échappement du petit cylindre dans le récipient C ; 3, 3 règle l'admission au grand cylindre et aussi l'échappement par les lumières *b* et *f*. La vapeur du petit cylindre arrive par les trous *d*, *d*, *d* ; le jeu de la vapeur est indiqué par les flèches.

Le mouvement des pistons est transmis à l'arbre coudé I et aux manivelles *i* et *i'*, *i''*, par des bielles qui sont articulées directement aux pistons A et B. Le tiroir de distribution est commandé par les excentriques *i''* et *i'''* et leurs bielles et les organes de transmission qui se composent du cadre M des tiges *m*, *m*, qui sont reliées à la crosse N et à la tige *n* du tiroir.

Les figures 9 et 10 représentent une machine compound à simple effet et à condensation ; figure 9 : section verticale de la machine, et figure 10 : coupe horizontale montrant les organes de distribution et leur jeu.

Dans cette machine, la distribution est du type dit de Kackwarth ou distri-

bution sans excentrique. Elle est dérivée de la bielle du petit cylindre et grâce aux proportions bien établies du mécanisme, la distribution se fait d'une manière convenable, tout en ne se servant que d'un seul tiroir-piston. L'admission au petit cylindre se fait pendant 35 % de la course et au grand pendant 65 %; l'échappement du petit cylindre commence au moment où le piston a accompli 98 % de sa course; l'échappement du grand se fait par le piston même et commence quand le piston a accompli 90 % de sa course. Ceci est admissible pour une machine à condensation, et présente l'avantage que les parois du cylindre sont exposées moins longtemps à l'action refroidissante du condenseur. De plus, par la position des ouvertures d'échappement, le cylindre se vide très complètement de l'eau de condensation à chaque révolution et l'ouverture rapide au moment du démasquage par le piston, établit un courant de vapeur qui balaye la surface supérieure du piston de toute humidité. Comme ce type de machine est spécialement destiné à être accouplé directement aux dynamos et à marcher en groupes, le condenseur et la pompe à air sont en commun pour chaque groupe d'appareils et munis d'une machine à vapeur spéciale. Cette disposition est nécessaire car la vitesse de 240 tours est trop grande pour le bon fonctionnement de la pompe à air. Pour éviter tout jeu ou bruit dans les articulations du mécanisme de la distribution, la tige du tiroir a un diamètre assez fort pour que la pression de la vapeur sur sa section soit suffisante pour assurer que l'effort sur les articulations se produise toujours dans le même sens.

Les dimensions principales de la machine à simple effet et à condensation, suivant le type des figures 9 et 10, sont les suivantes :

Petit piston :	diamètre 420 m/m ,	section 1385 cm^2
Grand » :	» 1050 \times 550 m/m ,	» 6284 cm^2
Course des pistons	450 m/m .	
Nombre de tours	240	
Pression de la vapeur	10 à 12 k .	
Force en chevaux	250	
Encombrement de la machine	2 m 550 sur 2 m 100	

Cette machine a aussi son mouvement enfermé et barbotant dans un bain d'huile, mais dans une caisse indépendante des cylindres; la machine étant à condensation, les cylindres sont fermés quoiqu'à simple effet et le fond des cylindres est toujours en communication avec le condenseur qui absorbe la vapeur qui pourrait pénétrer dans cette partie. Cette machine étant à condensation, l'échappement peut se faire par le grand piston même qui, à la fin de sa course B'', démasque les nombreux trous f , f ... faisant communication avec la chambre d'échappement F et le tuyau G qui mène au condenseur.

Le petit cylindre est muni de deux lumières circonférentielles a pour l'ad-

mission et *a'* pour la sortie de la vapeur ; de cette dernière la vapeur se rend dans le grand par la lumière *b*. Le jeu de la vapeur est indiqué par les flèches. Le grand cylindre est muni d'une enveloppe de vapeur. Les cylindres, n'étant pas ouverts, les pistons sont munis de tiges et le mouvement est transmis à l'arbre par l'intermédiaire de crosses guidées et de bielles. Une machine à simple effet, figurant à l'Exposition, a les dimensions suivantes :

Petit piston : diamètre 250 m/m , section	0 ^m 2,0490
Grand » » 410 \times 600 m/m	0 ,1587
Nombre de tours	400
Pression de la vapeur.	6 kil.
Course des pistons	0 ^m ,250
Rapport de détente.	0,22
Force en chevaux	50
Encombrement de la machine	2 mètres sur 1 mètre.

Cette machine, d'un type nouveau, est fort ingénieuse. Elle est à la hauteur des créations précédentes de M. Brown, et il est probable que ses résultats pratiques seront satisfaisants.

Machine rotative Bonjour

(Planche 94)

Cette machine, dont nous donnons le dessin planche 94, peut tourner à 1800 tours à la minute. On voit que le mouvement de rotation de l'arbre est donné par la résultante des mouvements à angle droit des deux pistons qui fonctionnent en compound.

Ce dessin représente une machine à détente variable à la main ; cette machine se construit aussi à détente fixe.

Cette machine spéciale peut trouver son application dans certains cas particuliers d'éclairage électrique, de ventilation, etc.

Machine de Montrichard

(Planche 94)

Nous pouvons encore signaler comme machine compacte la machine de Montrichard à mouvement elliptique avec piston distributeur.

Le piston, guidé par des contacts, a une forme telle qu'il est animé d'un mouvement de va et vient en même temps que d'un mouvement de rotation.

Il est à craindre que ce système donne lieu à beaucoup d'usure et que les fuites de vapeur produites n'augmentent la consommation de vapeur dans d'assez grandes proportions.

Turbo-moteur Parsons. (Weyher et Richemond)

(Planches 95-96)

Ce turbo-moteur, construit par la maison Weyher et Richemond, permet d'obtenir avec un appareil de faible dimension une vitesse de rotation assez grande pour attaquer directement une dynamo marchant à 9000 ou 10 000 tours à la minute.

La turbine à vapeur compound se compose de deux séries de turbines Jonval juxtaposées sur un même arbre S' de sorte que chaque turbine reçoit la vapeur de la précédente et la transmet à la suivante.

La vapeur se détend donc depuis l'arrivée de vapeur jusqu'à l'échappement, et pour répondre à ce fait, les dimensions des canaux de passage vont en s'augmentant pour avoir une distribution convenable à travers toute la série.

Les turbines sont constituées par des couronnes d'ailettes alternativement tournantes et fixes.

Les ailettes tournantes r sont calées sur l'arbre S. Les ailettes fixes avec canaux inclinés en sens opposé à celui des ailettes mobiles, sont fixées sur le cylindre enveloppe.

Cette machine, à cause de sa grande vitesse de rotation, est munie de coussinets spéciaux. Le graissage qui doit être très énergique fait également l'objet d'une disposition spéciale très ingénieuse.

L'huile est aspirée jusqu'au niveau de l'axe J par l'action du ventilateur, et de là elle circule dans tous les autres organes et est reprise par le tuyau de retour U et remontée en P, par le régulateur. La circulation est donc continue.

Le ventilateur sert aussi à la régularisation de la vitesse de rotation de la façon suivante :

Sur le fût des électros se trouve le régulateur G dont la mise en action a lieu par l'attraction du fût des aimants sur une petite barrette ou aiguille en fer n exactement équilibrée et montée sur un pivot vertical ; un ressort en spirale s contrebalance cette attraction. Un double doigt ou bras r est calé sur le pivot vertical ; l'extrémité de chacun de ces doigts est une portion de cylindre vertical, dont le pivot forme l'axe central, et lorsqu'il se trouve en face de l'orifice i , communiquant au tuyau d'air Y, il le tient fermé.

Le ressort spiral s est réglé par la tête mobile h , de telle façon que l'orifice i se trouve obstrué de plus en plus à mesure que l'attraction croît. Lorsque l'orifice i est découvert, l'afflux d'air par le tuyau Y neutralise en partie l'aspiration du ventilateur F, et permet au diaphragme L de s'étendre et par suite d'ouvrir

la valve d'admission V. Le régulateur règle l'admission de la vapeur proportionnellement à l'intensité du champ magnétique, sans avoir par lui même aucun effort à développer pour conduire la valve ; aussi le résultat obtenu est-il parfait et il est possible de faire varier la charge de la machine graduellement de 0 à son maximum de puissance, sans atteindre une variation de plus de 1 % dans la différence de potentiel.

Note A

EXTRAIT DU COMPTE RENDU DES SÉANCES DU TREIZIÈME CONGRÈS
DES INGÉNIEURS EN CHEF
DES ASSOCIATIONS DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR.

.....
Rapport de MM. Coste et Bour.

1° La machine compound est nécessairement peu élastique et son fonctionnement normal, pour les conditions de marche prévues par le constructeur peut devenir très défectueux dès que l'on s'écarte de ces conditions.

2° La machine compound se prête moins bien à une marche régulière que la machine à un seul cylindre, lorsqu'elle est appliquée à un travail variable.

3° La machine compound ne se prête pas facilement à la marche double, en ce sens que les conditions d'établissement d'une machine à condensation diffèrent de celles d'une machine à échappement libre. Ainsi, quand on s'écarte pour une même machine d'une certaine puissance moyenne, on est exposé à trouver pour l'une des deux marches, un fonctionnement très défectueux.

4° Les machines compound sans condensation présentent à un degré exagéré tous les inconvénients que nous trouvons aux machines compound à condensation.

5° La machine compound ne nous semble pas pouvoir être considérée comme un moteur industriel susceptible d'être établi suivant des types fixes, capables de répondre aux exigences générales des ateliers. Bonne pour certains cas, elle peut, dans d'autres, donner lieu à de graves mécomptes, si elle n'a pas été établie en prenant des précautions spéciales.

Il y a même des cas où elle ne devrait jamais être adoptée. La machine à un seul cylindre permet au contraire de constituer des types d'un emploi plus général.

La détente multiple a certainement amené des améliorations considérables dans les machines marines pour lesquelles elle est admise aujourd'hui sans conteste.

Note B

EXTRAIT DU RAPPORT DE M. WALTHER-MEUNIER, INGÉNIEUR EN CHEF DE
L'ASSOCIATION ALSACIENNE DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR, SUR
LES TRAVAUX EXÉCUTÉS SOUS SA DIRECTION DU 1^{er} JANVIER AU 31 DÉ-
CEMBRE 1888.

La faveur dont jouissent les machines compound nous a amené à établir la moyenne de consommations de ce genre de moteurs expérimentés par nous dans les dernières années, et celles de machines à un cylindre fournissant, autant que possible, la même puissance indiquée. Les résultats de cinq séries d'expériences sur chaque type sont consignés dans le tableau page 135, les consommations étant données en kilogrammes de vapeur par heure et force de cheval indiquée.

Si nous prenons la moyenne des consommations dans les deux cas, nous arrivons, en faveur de la machine compound, à une différence de :

$$7.843 - 7.2056 = 0.6374,$$

soit 8,126 %.

D'autre part, la moyenne de quatre essais au frein exécutés sur des machines compound, nous donne un rendement de 0,8815, et la moyenne de deux essais au frein de machines à un cylindre, 0,9115.

Différence en faveur de la machine à un cylindre, 0,03, soit 3 %.

D'où différence en faveur de la machine compound en tenant compte de la puissance effective utile sur l'arbre volant, 5,126 %.

Si parmi les machines à un cylindre de construction récente, nous prenons d'une part la Corliss Creusot consommant 7 kil. 690, et d'autre part la Wheelock tandem consommant 7 kil. 233, la différence de consommation n'est plus que de 0 kil. 457 ou 5,942 %.

Nous obtenons un chiffre se rapprochant beaucoup de ce dernier en comparant la Corliss Berger consommant	7,605
à la machine à quatre tiroirs plans consommant	7,188
la différence est de	0 ^k ,417 ou 5,483 %

En tenant compte des différences de rendement, l'avantage de la machine compound se réduirait, dans ces deux derniers cas, à 5,7125 — 3 = 2,7125 %.

En présence de ces considérations nous croyons qu'il y a lieu, dans chaque cas particulier, d'examiner attentivement à quel genre de moteur il faut donner la préférence ; cet examen devra constater d'abord si l'intérêt et l'amortissement

de la plus-value du moteur compound sont inférieurs à la dépense annuelle de combustible plus forte de la machine à un cylindre. En second lieu les frais d'entretien et de graissage sont plus élevés pour la machine compound que pour un moteur à un cylindre de la même puissance.

La réputation faite aux machines compound s'explique principalement par les résultats avantageux obtenus dans la marine, où ce type a eu les premières applications. Pour les moteurs industriels, en dehors des considérations pécuniaires énoncées ci-dessus, nous devons tenir compte encore des conditions de fonctionnement. Une machine à un cylindre peut être plus facilement confiée à un soigneur médiocre qu'un moteur compound. Celui-ci étant même disposé pour recevoir de la vapeur directe dans les deux cylindres ne fonctionnera pas dans des conditions avantageuses si, pour une cause quelconque, le petit cylindre vient à manquer. Il faut alors introduire la vapeur dans le grand cylindre fonctionnant seul, à une pression assez basse pour que les organes ne soient pas compromis, ce qui entraîne une marche peu économique. Si au contraire nous avons une machine jumelle dont l'un des cylindres est arrêté, le second fonctionnera dans des conditions tout aussi avantageuses qu'en marche ordinaire. Cette considération est aussi à faire valoir surtout lorsque le moteur constitue une machine de secours à laquelle on demande un travail variant du simple au double, par exemple. Il est alors tout indiqué de ne marcher qu'avec un seul cylindre.

Pour de très grandes puissances, la machine compound se recommande tant au point de vue économique que sous le rapport du fonctionnement, quand celui-ci est constant. Par contre, quand le moteur n'a pas à fournir au-delà de 200 à 250 chevaux, nous pensons qu'avec la perfection de la construction moderne la machine à un cylindre est préférable à cause de sa simplicité.

Dans ce qui précède nous ne considérons pas les moteurs à grande vitesse et de petites dimensions qui constituent une catégorie spéciale, et nos appréciations se bornent aux machines usitées comme moteurs industriels pour lesquels doivent entrer en ligne de compte le prix d'installation, les besoins de fabrication et l'absence de complications qui constituent toujours un facteur désavantageux.

En résumé, dans l'état actuel de la question, nous devons nous borner à soumettre aux intéressés les observations précédentes, en attendant qu'un plus grand nombre d'expériences vienne les confirmer ou les modifier. Nous tenons seulement à mettre l'acquéreur d'un moteur à vapeur en garde contre un entraînement qui, dans certains cas, est absolument justifié; mais qui, dans d'autres, pourrait causer des surprises désagréables.

*Tableau comparatif des consommations de machines compound
et de moteurs à un cylindre.*

MACHINES COMPOUND				MACHINES A UN CYLINDRE			
SYSTÈME	PUISSANCE INDIQUÉE	CONSOMMATION	OBSERVATIONS	SYSTÈME	PUISSANCE INDIQUÉE	CONSOMMATION	OBSERVATIONS
4 tiroirs	66 chev.	7 ^k ,346	Manivelles à 90°	Corliss Creusot.	152 chev.	7 ^k ,690	
Wheelock. . . .	128 »	7 ,233	Tandem simple.	» »	156 »	7 ,730	
4 tiroirs plats. .	254 »	7 ,188	Manivelles 90° .	» Berger .	215 »	7 ,605	
Wheelock. . . .	308 »	7 ,130	2 tandems jumel.	» ancienne	305 »	8 ,170	2 jumelles
Corliss Berger .	310 »	7 ,229	Manivelles à 90°	» »	260 »	8 ,020	»
Sommes	1066 chev.	31 ,128			1088 chev.	39 ,215	
Moyennes	2135 »	7 ,2056			517 »	7,843	

NOTE

SUR DIVERS

MOYENS D'ECONOMISER LA VAPEUR

dans les machines à un cylindre

PAR

M. DWELSHAUVERS-DERY

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE

(Planches 97-98).

Dans des expériences faites avec beaucoup de soin, un de mes amis, M. Bryan Donkin, avait recherché quelle économie on pouvait attendre d'une enveloppe à flammes de gaz appliquée à une machine à cylindre unique et fonctionnant tantôt avec, tantôt sans condensation. Il m'avait communiqué les résultats de ses recherches, dont un surtout m'a frappé : dans un des essais sans condensation la vapeur avait été surchauffée pendant toute l'admission et pendant toute la détente. Je ne connaissais qu'un seul cas semblable, c'est le huitième de la série des essais faits en 1873 et 1875, à Logelbach, sous la direction de M. Hirn, et dont le rapport a été fait par O. Hallauer en 1876, dans les *bulletins de la Société Industrielle de Mulhouse*. Dans ce cas encore il n'y avait pas de condensation, mais la vapeur avait été amenée surchauffée d'environ 70° dans le cylindre. Tout d'abord je me suis contenté d'étudier et de comparer par ma méthode ces résultats de l'expérience. Ensuite j'ai poussé plus loin mes recherches ; je me suis posé cette question : est-ce que l'échange continu et inéluctable de chaleur entre la vapeur et les parois internes du cylindre, n'aurait pas pour conséquence d'imposer un maximum à l'économie que peut procurer le réchauffement de la vapeur en travail, par un moyen quelconque ? Nettement posée cette question semble recevoir immédiatement sa solution. En effet, toute quantité de chaleur fournie à la vapeur pendant qu'elle travaille, diminue l'action pernicieuse des parois ; c'est un premier effet, mais il y en a un second : la vapeur est aussi

mieux fournie de calories au moment où elle va quitter sans retour le cylindre, et la perte due à l'abandon de la vapeur en est augmentée. Le travail extérieur ne profite donc pas seul des calories supplémentaires fournies à la vapeur dans le cylindre ; plus on en fournit, plus il en va au condenseur ; il est donc à supposer qu'il y a une situation qui donne lieu à un maximum d'économie. L'expérience devait dire quelle est cette situation ; et des études que nous avons faites à ce sujet, nous croyons pouvoir déduire cette propriété que nous voudrions ériger en principe :

Le maximum d'économie est obtenu lorsque la vapeur, à la fin de la détente ou au commencement de l'émission, est sèche et saturée ou légèrement surchauffée. Dans ce cas l'action manifestement malfaisante des parois pendant l'échappement est réduite à un minimum.

Si ce principe est admis le problème des enveloppes peut être posé dans les termes suivants, et expérimentalement résolu :

A. *Quelle est la température à entretenir dans l'enveloppe pour obtenir la siccité de la vapeur au moment de l'échappement ?*

B. *Quelle est la substance (vapeur, flammes de gaz, etc.) qui donne cette température de la manière la plus convenable et la plus économique ?*

Le problème de la surchauffe est plus simple et est borné à la recherche de *la température de la surchauffe* qui donne le résultat susdit.

Préalablement il faut démontrer que la chaleur additionnelle fournie par l'un de ces moyens, peut amener la siccité de la vapeur au commencement de l'échappement, même quand il y a condensation, c'est-à-dire lorsque le refroidissement du métal pendant l'échappement a été très considérable. Si nous en doutons, c'est que, ni dans les expériences de M. Hirn, avec vapeur surchauffée, ni dans celles de M. Donkin avec flammes de gaz, la vapeur ne s'est jamais trouvée sèche au commencement de l'échappement quand il y avait condensation ; et nous n'en avons qu'un seul exemple dans chaque série quand il n'y avait pas de condensation.

Les expériences de M. Willans, qui ont paru dans les *selected papers de l'Institution des Ingénieurs civils de Londres*, ont démontré que les grandes vitesses de marche constituent un moyen d'économiser la chaleur. Nous avons appliqué notre méthode à la recherche du procédé naturel par lequel cet effet est obtenu et, nous avons vu que le comment du phénomène ne diffère guère de celui des autres moyens et que c'est encore sur l'échange de chaleur entre la vapeur et le métal que la vitesse influe.

Il convient, ce nous semble, d'exposer ici à grands traits notre méthode et ses applications aux essais d'enveloppe à flammes de gaz de M. Donkin ; de vapeur surchauffée de M. Hirn, et de vitesses de M. Willans.

Ce que j'appelle ma méthode n'est en somme que la mise en équation et en diagrammes de *la théorie pratique de M. Hirn*. Elle repose sur deux faits :

Lorsque la machine marche en régime, au bout de chaque période le métal du cylindre se retrouve à la même température qu'au commencement, et la vapeur aussi dans le même état qu'au commencement. En d'autres termes les cycles des opérations thermiques subies par la vapeur et par le métal, sont tous deux fermés. D'où résulte que les quantités de chaleur perdues et gagnées par la vapeur en un tour sont égales, et qu'il en est de même de celles que le métal a gagnées et rendues.

Pendant la détente et la compression, opérations où le poids de fluide en jeu dans le cylindre est constant, la vapeur perd ou gagne de la chaleur pour deux raisons; parce qu'elle fait le travail extérieur et parce qu'elle échange des calories avec le métal pour l'amener à sa propre température.

Si donc on considère soit l'entièreté, soit une partie définie de la période de détente ou de celle de compression, on peut conclure que la différence entre les chaleurs internes de la vapeur au commencement et à la fin de la phase donnée est égale à la somme des chaleurs abandonnées par la vapeur pour faire le travail extérieur et pour changer la température du métal. Un essai de machine fournit les données nécessaires au calcul de trois de ces quatre quantités, les chaleurs internes de la vapeur au commencement et à la fin de la phase considérée, et le travail extérieur ; une équation dont nous venons de donner la signification permet ensuite de calculer la quatrième, l'échange de chaleur entre le métal et la vapeur. échange *positif* quand il s'établit de la vapeur au métal, et *négatif* quand c'est le métal qui fournit des calories à la vapeur.

Dans ce qui suit, il est inutile de considérer d'autres phases que l'entièreté de la détente et de la compression et nous emploierons les notations suivantes :

U_0, U_1, U_2, U_3 , les chaleurs internes de la vapeur respectivement au commencement et à la fin de la détente, au commencement et à la fin de la compression.

T_d, T_c , le travail extérieur effectué respectivement pendant la détente et pendant la compression, exprimé en calories et sans que le signe soit explicite.

R_d, R_c , en calories, la quantité de chaleur cédée par la vapeur au métal pendant la phase de détente et celle de compression respectivement.

On a donc les deux équations :

$$U_0 - U_1 = T_d + R_d, \text{ pour la détente} \quad (1)$$

$$U_2 - U_3 = -T_c + R_c, \text{ pour la compression} \quad (2)$$

qui permettent de calculer R_d et R_c , les autres quantités étant données par l'essai.

Les phases d'admission et d'échappement ne peuvent pas être traitées partiel-

lement, parce que l'expérience ne peut par aucun moyen faire connaître le poids de fluide présent dans le cylindre excepté au commencement ou à la fin. Pour la période entière d'admission, on peut dire qu'une équation analogue aux deux précédentes doit être établie, en ayant soin d'ajouter au premier membre la chaleur Q que la vapeur convoie avec sa propre substance dans le cylindre. Pour la période d'émission, il faudra en soustraire la chaleur que la vapeur emporte hors du cylindre et rejette soit au condenseur, soit dans l'atmosphère. Cette chaleur rejetée, dans le cas de la condensation, nous la divisons en deux parties, celle que l'eau froide a reçue C , et celle c que la vapeur condensée conserve en vertu de sa température au dessus du zéro Celsius. Les deux équations suivantes complètent précédentes :

$$Q + U_3 - U_0 = T_a + R_a, \quad \text{pour l'admission} \quad (3)$$

$$U_1 - U_2 - (C + c) = - (T_c + R_c). \quad \text{pour l'émission} \quad (4)$$

La signification de T_a , R_a , T_c , R_c , se comprend d'après ce qui précède ; seulement nous avons, pour l'émission, donné tout d'un coup au travail T_c , comme pour la compression, et à l'échange de chaleur R_c les signes qui leur conviennent.

Les deux notations suivantes nous seront aussi utiles.

Nous appelons T_f le travail définitif fait par la vapeur pendant son séjour dans le cylindre, depuis le commencement de la compression jusqu'à la fin de la détente ; donc

$$T_f = - T_c + T_a + T_d. \quad (A)$$

De même nous appelons R_f la chaleur définitivement fournie par la vapeur au métal, durant son séjour dans le cylindre,

$$R_f = R_c + R_a + R_d. \quad (B)$$

Le travail extérieur définitivement obtenu, nous l'appellerons T ; il vaut

$$T_f - T_c \text{ ou } - T_c + T_a + T_d - T_c ;$$

ne

$$T = T_f - T_c = - T_c + T_a + T_d - T_c. \quad (C)$$

Les conditions précitées du régime, nous permettent d'écrire encore deux équations exprimant que la somme des quantités de chaleur reçues et rendues en une période entière par le métal d'une part, et par la vapeur de l'autre, est égale à zéro. Soit Q' la chaleur que l'enveloppe fournit pendant la période à travers le métal tant à la vapeur dans le cylindre qu'à l'air ambiant ; et soit E cette der-

nière partie; alors ce que la paroi interne du cylindre a reçu et fourni ensuite à la vapeur, c'est $(Q' - E)$; le métal a de plus reçu R_f et rejeté R_e . Il s'en suit que l'on a :

$$R_f + Q' - E - R_e = 0, \text{ pour le métal ;} \quad (5)$$

et de même pour la vapeur, l'équation suivante existe :

$$Q + (Q' - E) - T - (C + c) = 0, \text{ pour la vapeur.} \quad (6)$$

Ces six équations ne peuvent pas fournir les valeurs de plus de quatre inconnues parce que la 5^e se déduit des 4 premières par une simple addition, et que la 6^e, établie entre toutes quantités fournies par l'expérience, ne peut servir qu'au contrôle des opérations.

Dans les quatre premières équations il est une quantité que l'expérience ne donne pas directement, c'est U_2 parce que l'on ne connaît pas le *titre* de la vapeur restant dans le cylindre au moment où commence la compression. M. Hirn a démontré clairement, malgré la contradiction de M. Zeuner, que, dans les expériences de Logelbach, on devait considérer la vapeur comme sèche et saturée au commencement de la compression. Il n'y a pas lieu à d'autres conclusions pour les autres essais dont il est ici question. Au moyen de l'instrument appelé *révélateur d'échange*, M. Donkin son inventeur, a démontré expérimentalement la chose. Nous tiendrons donc le fait pour acquis, et considérerons les quatre premières équations comme suffisantes pour faire connaître les valeurs des quatre inconnues R_a , R_d , R_e , R_c .

Cela étant, connaissant T_a , T_d , T_e , T_c , ainsi que R_a , R_d , R_e , R_c , nous avons cherché un diagramme propre à représenter ces quantités diverses, les unes comme les autres, persuadé que *le diagramme des échanges* de chaleur entre la vapeur et le métal pourrait jeter une vive lumière sur les phénomènes thermiques des machines, autant que le *diagramme des pressions* ou diagramme d'indicateur.

Le point de départ de notre invention du diagramme des échanges est que les travaux T et les échanges R étant *exprimés* dans les mêmes unités, en calories, doivent être *représentés* graphiquement par un même procédé. Or dans les diagrammes d'indicateur, un travail est représenté par la surface d'une figure rectangulaire ou trapézoïdale dont la base représente le volume engendré par le piston durant la phase considérée. Lorsqu'on étudie les diagrammes d'indicateur, généralement on mesure en mètres cubes les abscisses ou volumes engendrés par le piston, et les ordonnées ou pressions en kilogrammes par mètre carré; alors les surfaces du diagramme représentent des kilogrammètres, qu'on peut traduire en calories en divisant par 425.

De la même façon soit R calories, l'échange connu de chaleur entre deux positions données du piston, entre lesquelles le piston a engendré V mètres cubes ;

que l'on cherche la valeur de $\frac{425 R}{V} = r$, et r représentera la hauteur d'un rectangle qui, au diagramme, aura V pour base, et dont la surface sera proportionnelle à R .

Soit donc V_a, V_d, V_c, V_e , en mètres cubes, les volumes engendrés par le piston respectivement pendant les périodes d'admission (eu égard à l'avance), de détente, d'émission (eu égard à l'avance), de compression. On aura

$$\begin{aligned} r_a &= \frac{425 R_a}{V_a}, & r_c &= \frac{425 R_c}{V_c}, \\ r_d &= \frac{425 R_d}{V_d}, & r_e &= \frac{425 R_e}{V_e}. \end{aligned}$$

Supposons, comme c'est le cas général, que ce soit la vapeur qui ait fourni de la chaleur au métal pendant l'admission et la compression ; et le métal à la vapeur pendant la détente et l'émission. Dès lors, pour la course directe, r_a est positif et r_d est négatif ; et pour la course rétrograde, r_e est négatif et r_c est positif. Nous avons fait la convention de porter au-dessus de l'axe des x les échanges r positifs dans la course directe, et négatifs dans la course rétrograde ; et, en-dessous de l'axe des x , les échanges négatifs dans la course directe, et positifs dans la course rétrograde. De la sorte nous obtenons un diagramme formé de deux surfaces, l'une positive, l'autre négative, qui seraient égales s'il n'y avait ni perte ni gain à travers le métal, c'est-à-dire pas de rayonnement extérieur. Il présente la forme représentée fig. 1 de la planche 145-146 ; c'est un diagramme type dans lequel nous avons distingué par le trait interrompu xy l'action des parois R_f ou $R_e + E$ ou $R_e - (Q' - E)$; le rectangle qui représente le travail absolu positif a sur tout son pourtour des hachures obliques serrées ; les surfaces positives et négatives représentant des échanges de chaleur entre le métal et la vapeur sont distinguées par l'inclinaison des larges hachures. Le diagramme d'indicateur est en gros traits noirs.

Afin de pouvoir établir une comparaison graphique facile entre toutes les machines, il fallait adopter une échelle uniforme et des points de comparaison bien définis. C'est ce que nous avons fait. Dans la planche ci annexée, qui accompagnait un mémoire en anglais, nous avons représenté par *un pouce et huit dixièmes la course du piston*, quelle qu'elle soit en réalité dans la machine.

La dépense de vapeur nous l'évaluons en *kilogrammes*, en convenant qu'un kilogramme représente 655,062 calories, soit la chaleur totale d'un kilogramme de vapeur à 6 atmosphères de tension absolue. Dès lors, étant donnés Q et Q' , la consommation de vapeur π par période sera donnée par

$$\pi = \frac{Q + Q'}{655,062}.$$

Nous rapportons ensuite toutes les quantités au kilogramme de vapeur consommée. Ainsi nous divisons r par π et le quotient représente un échange de chaleur estimé en kilogrammes par mètre carré et par kilogramme de vapeur consommée. Les pressions p et les échanges r sont tous exprimés de la même façon. Il est bien entendu que pour ramener tous les diagrammes à la même base il faut multiplier les résultats précédents par le volume engendré par le piston en une course entière.

Il en résulte que, pour comparer les diagrammes de pression et d'échange de deux machines quelconques on n'a qu'à les superposer.

Telles sont les règles que nous avons suivies dans le tracé des diagrammes de la planche ci-annexée. Voici l'explication du diagramme type fig. 1.

Pendant l'admission, la vapeur fait un travail représenté par la surface $bBDdb$; elle cède en outre au métal une quantité de chaleur représentée à la même échelle par la surface $bGHdb$.

Pendant la détente, la vapeur fait un travail représenté par l'aire $dDEed$; mais elle reçoit du métal une quantité de chaleur représentée par la surface $dPMd$.

Pendant l'échappement anticipé, la vapeur fait le travail $eEFfe$; et reçoit du métal une quantité de chaleur représentée par $eLKfe$.

Donc, *pendant la course directe*, la vapeur a fait le travail $bBDEFfb$ que nous avons désigné par T_f , et que Hallauer nommait travail absolu; nous dirons travail absolu positif. La surface $bSRfb$ a été faite égale à la précédente, c'est pourquoi sur la ligne SR nous avons mis la lettre T_f .

Pendant la course rétrograde nous avons aussi trois phases: l'émission, la compression, l'admission anticipée. Le travail reçu par la vapeur ou travail absolu négatif est représenté fig. 1 par $fFCABbf$. Quant à l'échange de chaleur il est représenté

Pendant l'émission par l'aire du rectangle $fJQcf$;

Pendant la compression par l'aire du rectangle $cNTac$;

Pendant l'émission anticipée par l'aire du rectangle $aUVba$.

Pendant l'émission c'est le métal qui cède de la chaleur à la vapeur, l'opération est négative. Dans les deux autres phases, c'est le contraire.

En ce qui concerne l'étude comparative des essais, nous l'avons résumée dans un tableau ci-annexé en y inscrivant :

D'abord les particularités relatives à l'essai et à la machine; l'espace mort rapporté au volume engendré par le piston en une course; puis le degré d'expansion réel, c'est-à-dire le rapport des volumes occupés par la vapeur dans le cylindre au commencement et à la fin de la détente. La pression à la chaudière et la température correspondante, s'il n'y a pas surchauffe: celle de la surchauffe s'il y a lieu; c'est la température la plus élevée que puisse posséder la vapeur en jeu. La température de l'eau froide de condensation, ou celle de l'at-

mosphère quand il n'y a pas de condensation, est la température la plus basse à laquelle on puisse faire descendre la vapeur. Ces dernières données sont en mesures anglaises. On en déduit le maximum de travail à retirer d'une unité de dépense, égal à la chute de température divisée par la plus haute température absolue ; et la perte égale à l'unité moins cette première fraction. Les chiffres relatifs à chaque essai sont inscrits sur une même ligne horizontale.

Nous avons ensuite inscrit les chiffres relevés dans les expériences et donnant :

Le travail absolu positif T_f en fraction de Q .

La perte par parois, R_f , » »

L'ensemble des autres pertes » »

La perte $U_1 - U_2$ également » »

et représentant la chaleur que la vapeur emporte avec elle-même en quittant la machine.

Enfin, comme renseignement utile, nous donnons la dépense de vapeur (en kilogrammes) par cheval-heure absolu.

En ce qui concerne les expériences faites avec enveloppe à gaz de M. Donkin, nous n'avons pas rapporté les données à $Q + Q'$ parce que la chaleur Q' fournie par l'enveloppe n'a pas été mesurée. De là des chiffres qui autrement ne s'expliqueraient pas.

Essais de M. Donkin. — Enveloppe à flammes de gaz. — Ils ont été faits, aux dates indiquées au tableau, sur une machine horizontale à double effet, sans fausse tige au piston, et avec des espaces morts, des avances, des degrés d'admission et d'émission différents des deux côtés ; on ne donne ici que des moyennes des résultats.

Trois essais ont été faits avec condensation et deux sans condensation ; ils portent respectivement les N^{os} I *bis*, I, II, III et IV.

Les N^{os} I *bis* et I de la première série et III de la deuxième ont été faits avec réchauffement du cylindre par des flammes de gaz ; les N^{os} II et IV sans aucune enveloppe.

Essais de M. Hirn. — Vapeur surchauffée. — Ce sont les essais de 1873 et 1875 faits sur la machine de Logelbach, sous la direction de M. Hirn et dont M. Hallauer a fait en 1876 un rapport circonstancié au Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.

Un seul a été fait sans condensation ; il porte le N^o VIII.

Six essais avec vapeur surchauffée, V, III, I, IV ; VII, VIII.

Deux essais avec vapeur saturée, VI, II.

Les essais V et VI ont été faits dans toutes les mêmes conditions, sauf en ce qui concerne la surchauffe ; il en est de même des N^{os} I et II.

Essais de M. Willans. — Influence de la vitesse. — Ils ont fait l'objet de discussions fort intéressantes à l'Institution des Ingénieurs civils de Londres,

et ont été rapportés dans les *selected papers* de 1872 de cette Société. Parmi les nombreux essais de M. Willans, nous en avons choisi douze, faits sur une machine à simple effet, sans condensation, sans enveloppe de vapeur, à des vitesses d'environ 400, 200 et 100 tours par minute, et, pour chacune de ces vitesses avec des degrés de détente 0. 280, 0. 327, 0. 401, 0. 497.

A la planche des diagrammes, nous avons formé quatre séries, pour chacune desquelles le degré de détente est le même (un de ceux ci-dessus), et la vitesse est d'environ 100 tours pour le premier essai de chaque série, 200 pour le second, 100 pour le troisième.

Dans le tableau, nous avons groupé ensemble les quatre essais à grande vitesse les quatre à moyenne vitesse, les quatre à petite vitesse, et les avons rangés par ordre de la grandeur de la détente en commençant par la plus petite admission 0. 280. De la sorte l'influence de la vitesse est mise en évidence.

Les tableaux et les diagrammes présentent donc les *faits* acquis par les expériences. Il ne reste qu'à interpréter et conclure. Nous le faisons le plus brièvement possible.

Conclusions. — Les trois moyens d'économiser la vapeur qui font l'objet du présent mémoire produisent en définitive des effets semblables par un même procédé complexe qui consiste:

A augmenter le travail absolu T_f ;

A diminuer la perte totale par les parois, R_f ;

A augmenter les autres pertes d'une quantité moindre que le bénéfice réalisé sur l'action des parois.

L'enveloppe à gaz de Donkin donne les résultats suivants :

Avec condensation,

Le travail absolu est augmenté de	0,008
La perte par parois est diminuée de	0,063
Les autres pertes sont augmentées de	0,055

Sans condensation,

Le travail absolu est augmenté de	0,031
La perte par parois est diminuée de	0,164
Les autres pertes sont augmentées de	0,133

Parmi ce que nous appelons les autres pertes, le terme principal est U , chaleur interne de la vapeur au moment où elle va quitter le cylindre. L'effet de l'enveloppe est d'augmenter ce terme, de manière que le travail absolu ne profite pas seul de l'économie réalisée sur l'action des parois. Cela est naturel puisque la chaleur venant de l'enveloppe doit avoir pour effet de rendre à la fin de la détente la vapeur plus sèche et plus chaude. L'économie due à l'enveloppe

semble donc limitée par ce fait. La même conclusion peut se déduire des autres expériences comme nous allons le faire voir.

La vapeur surchauffée de Hirn a un effet qui sera mieux mis en relief par la comparaison des essais I et II de 1873, respectivement avec et sans surchauffe et V et VI de 1875, respectivement avec et sans surchauffe.

Essais I et II (1873)

Le travail absolu est augmenté de . . . 0,143 — 0,117 = 0,026
 La perte par parois est diminuée de . . . 0,147 — 0,067 = 0,080
 Les autres pertes sont augmentées de . . . 0,790 — 0,736 = 0,054

Essais V et VI (1875)

Le travail absolu est augmenté de . . . 0,146 — 0,124 = 0,022
 La perte par parois est diminuée de . . . 0,250 — 0,150 = 0,100
 Les autres pertes sont augmentées de . . . 0,704 — 0,626 = 0,078

Le bénéfice définitif sur le travail absolu est donc dans le premier cas de 22 % et dans le second de 18 %. Mais le travail ne profite pas de toute la diminution de l'action des parois ; il n'en recueille que le tiers ou le quart, le reste va augmenter les pertes en augmentant la chaleur que la vapeur emporte en s'échappant.

Les essais de Willans sur l'effet des grandes vitesses sont surtout rendus sensibles par les diagrammes IV, V et VI de la seconde série, correspondant respectivement aux vitesses de 409,1 de 205,2 et de 112,7 tours par minute. Il saute aux yeux que le réchauffement des parois pendant l'admission, R_a , va en augmentant à mesure que la vitesse diminue ; que la restitution de chaleur faite par les parois à la vapeur pendant la détente, va aussi en augmentant, mais que le résultat définitif, la perte définitive par parois, ou R_f , va en augmentant. Le tableau suivant le démontre par des chiffres :

	400 et 200 révolutions IV et V	200 et 100 révolutions V ET VI	400 et 100 révolutions IV ET VI
Le travail absolu est augmenté de . .	0.010	0.016	0.026
La perte par parois, diminuée de . . .	0.030	0.098	0.128
Les autres pertes, augmentées de . . .	0.020	0.082	0.102

Le bénéfice résultant sur le travail est, pour ces trois termes de comparaison, respectivement de 10,5, 20,2 et 32,9 %.

L'analogie de ces résultats démontre l'analogie des procédés naturels par lesquels ils sont obtenus. La conclusion générale est donc la suivante :

Quel que soit le procédé employé pour diminuer l'influence nuisible des parois, le bénéfice fait sur les parois ne va pas tout entier au travail, la majeure partie va augmenter la perte en s'incorporant à la vapeur qui quitte le cylindre.

On peut annuler la perte par parois et même la rendre négative, c'est-à-dire que l'action définitive des parois peut être de réchauffer la vapeur ; c'est ce qui est arrivé deux fois, essai III de Donkin et VIII de Hirn, chaque fois sans condensation, c'est-à-dire alors que les parois étaient peu refroidies lors de l'admission. Mais le bénéfice effectué se partage fort inégalement entre le travail et les pertes : au travail il n'en va qu'*un cinquième* environ, et *quatre cinquièmes* aux pertes par ce défaut du cycle de nos machines d'où le fluide s'en va encore chaud après avoir travaillé.

Il semble donc qu'il y ait là une borne à l'économie, que l'on peut demander à ces moyens, et que l'homme ne saurait la dépasser.

On dirait aussi que l'économie due à l'accroissement de vitesse doit avoir une limite ; probablement il existe une vitesse telle qu'il n'y aurait plus bénéfice à la dépasser.

Des trois moyens, enveloppe à gaz, surchauffe, grande vitesse, le plus généralement applicable, est la vapeur surchauffée. En effet, pour marcher à des vitesses de 400 tours et plus, une machine doit être construite tout exprès, et pour toute machine il existe une vitesse qu'il serait dangereux de dépasser. L'enveloppe à gaz peut en général être appliquée, mais elle sera peu économique là où le gaz coûte cher. Quant à la vapeur surchauffée elle exige seulement un réchauffeur qu'il faut ajouter à la chaudière. L'appareil est simple mais sa construction doit être soignée si l'on ne veut perdre au lieu de gagner. De difficultés il n'en est aucune de sérieuse ; l'exemple de la machine du Logelbach qui fonctionne à vapeur surchauffée, depuis plus de trente ans, est là pour le démontrer. En outre l'économie pratique du système ne saurait être sujette à contradiction. Il suffit de jeter un regard sur la dernière ligne du tableau ci-annexé pour s'en convaincre. La consommation par cheval-heure absolu, à l'essai n° V est descendue à 6,62 kilogrammes de vapeur ; la moindre pour les essais de Willans, a été de 8,13 kilogrammes. Les compounds de Willans (dont il n'est pas question dans ce mémoire), n'ont guère consommé moins que la vieille machine du Logelbach.

Expériences de Donkin. Enveloppe à flamme de gaz.

	ENVELOPPE A GAZ			SANS enveloppe	
	à condensation	sans conden- sation		à con- den- sation	sans conden- sation
Date de l'essai	9 août	8 août	31 juil.	9 août	26 juil.
N° de l'essai	I bis	I	III	II	IV
N° de Donkin	No. 3	No. 2	No. 9	No. 4.	No. 3
Espace mort	0.102 du volume engendré par course				
Réel degré d'expansion.	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684
Pression absolue, chau- dière, lbs.	49.70	49.20	50.20	49.20	50.20
Température de sur- chauffe	»	»	»	»	»
Température maximum.	741°	739°	Vapeur surchauf. pendant (toute la durée de la course)	740°	742°
Température minimum.	520°	520°		520°	520°
Maximum de travail. .	0.298	0.296		0.297	0.299
Minimum de perte . . .	0.702	0.704		0.703	0.701
	1.000	1.000		1.000	1.000
Travail absolu	0.191	0.090	0.127	0.083	0.096
Perte par parois	0.107	0.108	—0.013	0.170	0.151
Autres pertes	0.802	0.802	0.886	0.747	0.753
Perte par chaleur interne de la vapeur d'échap- ment	0.817	0.815	0.935	0.762	0.775
Rendement	0.305	0.304		0.279	0.321
Kil. de vapeur par che- val-heure absolu . . .	11.71	10.88	7.78	11.97	10.32

Essais de Hirn. Vapeur surchauffée.

VAPEUR SURCHAUFFÉE						VAPEUR saturée	
avec condensation						sans conden- sation	avec condensation
7 sept.	26 août	18 nov. 1873.	27 août	29 sept.	28 oct.	8 sept.	28 nov. 1873
V	III	I	IV	VII	VIII	VI	II
0.010 du volume engendré par course							
0.162	0.214	0.257	0.454	0.454	0.287	0.162	0.257
70.66	71.03	69.55	69.34	71.48	62.23	70.70	66.14
384°	419°	448°	433°	428°	428°	»	»
843°	878°	907°	893°	897°	897°	763°	758°
521°	521°	514°	521°	519°	515°	521°	512°
0.382	0.407	0.433	0.416	0.414	0.420	0.317	0.324
0.618	0.593	0.567	0.534	0.586	0.580	0.683	0.676
0.146	0.144	0.143	0.124	0.126	0.141	0.124	0.117
0.150	0.114	0.067	0.119	0.138	—0.004	0.250	0.147
0.704	0.743	0.790	0.757	0.736	0.863	0.626	0.736
0.705	0.743	0.790	0.759	0.737	0.871	0.627	0.736
0.382	0.354	0.330	0.298	0.304	0.336	0.391	0.361
6.62	6.79	6.78	7.83	7.22	6.90	7.80	8.29

Essais de Willans. Simple effet, sans condensation, sans enveloppe. Essais de vitesse

	GRANDE VITESSE				VITESSE MOYENNE				PETITE VITESSE			
	environ 400 tours				environ 210 tours				environ 115 tours			
	par minute				par minute				par minute			
Vitesse	400.16	400.9	409.1	408.4	223.7	223.0	205.2	200.6	138.0	122.8	112.7	110.5
Date de l'essai	5 déc.	30 nov.	8 déc.	6 déc.	2 déc.	30 nov.	9 déc.	7 déc.	5 déc.	1 déc.	8 déc.	6 déc.
Numéro de l'essai	X	VII	IV	I	XI	VIII	V	II	XII	IX	VI	III
Espace mort	0.070 du volume engendré par course.											
Réel degré d'expansion. .	0.280	0.327	0.401	0.497	0.280	0.327	0.401	0.497	0.280	0.327	0.401	0.497
Pres. absol. à la chaud. lbs.	136.74	111.75	88.57	65.46	126.98	99.40	80.97	58.57	120.14	94.93	76.40	54.69
Température maximum. .	810°	795°	778°	758°	804°	786°	772°	751°	800°	783°	768°	746°
» minimum. .	519°	517°	524°	524°	519°	519°	525°	519°	519°	525°	527°	509°
Maximum de travail . . .	0.359	0.349	0.326	0.308	0.355	0.340	0.320	0.308	0.351	0.329	0.313	0.317
Minimum de perte	0.641	0.651	0.674	0.692	0.645	0.660	0.680	0.692	0.649	0.671	0.687	0.683
Travail absolu	0.120	0.116	0.105	0.100	0.097	0.116	0.095	0.092	0.093	0.091	0.079	0.079
Perte par parois	0.126	0.106	0.130	0.147	0.189	0.116	0.160	0.133	0.214	0.205	0.258	0.230
Autres pertes.	0.754	0.778	0.765	0.753	0.714	0.768	0.745	0.775	0.693	0.704	0.663	0.691
Perte par la chaleur interne de la vapeur qui s'échappe.	0.762	0.784	0.771	0.759	0.719	0.774	0.751	0.781	0.697	0.708	0.669	0.696
Rendement.	0.334	0.332	0.322	0.320	0.273	0.341	0.297	0.299	0.265	0.277	0.252	0.244
Kil. de vapeur par cheval-heure absolu	8.13	8.35	9.22	9.90	10.00	8.35	10.22	10.58	10.40	10.71	12.35	12.62

SUR LA

DÉTERMINATION EXACTE DES POSITIONS RÉCIPROQUES

de l'extrémité de la bielle et de la manivelle
et sur un diagramme de distribution tenant rigoureusement
compte de l'obliquité des bielles

PAR

M. F. DUBOST

ANCIEN ÉLÈVE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
INGÉNIEUR A LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'EST

Quand on veut étudier une distribution de machine à vapeur à tiroir simple, on commence généralement par supposer les bielles infinies. Les diagrammes bien connus de Reech, de Reuleaux, de Zeuner et de M. Marcel Deprez donnent alors des solutions fort simples. Pour tenir compte de l'influence de l'obliquité des bielles, on trace ensuite le plus souvent une épure, grandeur qui permet de corriger les éléments de la distribution.

Divers procédés approximatifs ont été indiqués par MM. Marcel Deprez et H. Léauté, pour faire cette correction sans avoir recours à l'épure grandeur.

De son côté, M. Claeys, ingénieur belge, a indiqué un procédé qui donne la solution du problème, mais qui exige le tracé préalable et par points d'une courbe spéciale.

MM. Coste et Maniquet résolvent la question par l'emploi de gabarits, mais cette méthode tout en réalisant un véritable progrès n'est en somme que l'épure grandeur.

L'objet de la présente note est, dans une épure limitée par le cercle décrit par la manivelle motrice, de donner une solution rigoureuse de cette question.

**I. — POSITIONS RÉCIPROQUES DES EXTRÉMITÉS
DE LA BIELLE ET DE LA MANIVELLE**

Prenons deux positions symétriques AB, AB' de la manivelle (fig. 1) ; C et C'

MN, DD' et KK', il est bien évident que O est le milieu de HH' et que $HH' = II'$. Or $II' = BB' = CC'$ (fig. 1), par conséquent $OH = AC$, $OH' = AC'$ et les points H et H' peuvent être considérés comme les projections sur la direction du mouvement du tourillon de manivelle correspondant respectivement aux positions I et I' de l'extrémité de la bielle et transportées de la longueur de cette dernière parallèlement à la direction du mouvement.

Les points correspondants I et H pour l'extrémité de la bielle et la projection de la manivelle joints aux points fixes M et N donnent des droites MI et NH qui se coupent en K sur la circonférence de centre O et de rayon égal à celui de la manivelle.

Il en est de même pour les points correspondants I' et H' qui donnent les droites MI', NH' qui se rencontrent en K' sur la même circonférence.

Calculons la longueur de la demi-corde MN. On a dans le triangle rectangle AMO en abaissant ML perpendiculaire sur DD' (fig. 2).

$$MN = OL = \frac{\overline{MO}^2}{AO} = \frac{R^2}{L}$$

De ce qui précède nous en déduisons cette propriété de cinématique.

Les positions réciproques I et H de l'extrémité de la bielle et de la projection du tourillon de manivelle sur la direction du mouvement déplacée suivant cette direction de la longueur de bielle, s'obtiennent, en joignant les extrémités M et N d'une demi-corde égale à $\frac{R^2}{L}$ parallèle à la direction du mouvement, à un point K se déplaçant sur la demi-circonférence opposée à la demi-corde. (fig. 4)

Le résultat précédent, une fois connu, peut s'établir directement d'une façon assez rapide. Désignant par ω l'angle de rotation CAB de la manivelle, on a (fig. 1)

$$AI = CI - AC = -AC + \sqrt{BI^2 - BC^2} = -R \cos \omega + \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$$

Si l'on transporte la projection C du tourillon de manivelle en H, parallèlement à la direction du mouvement de la longueur L de bielle, la distance IH qui le sépare de l'extrémité de la bielle sera évidemment :

$$IH = L - \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$$

Cela dit, si l'on mène une demi-corde $MN = \frac{R^2}{L}$ parallèle à la direction du mouvement et si l'on joint M et N à un point quelconque K de la demi-circonférence DED', les intersections I et H de MK et NK avec DD' donneront les positions simultanées de l'extrémité de la bielle et de la projection

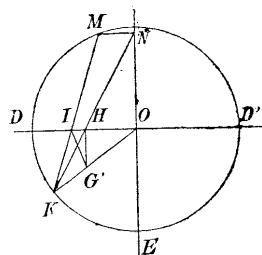


FIG. 4

du tourillon de manivelle. Il suffit pour le démontrer de prouver qu'on aura $OH = R \cos \omega$ quand $IH = L - \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$ et inversement.

Menons pour cela HG' parallèle à ON et coupant OK en G' , IG' sera évidemment parallèle à OM et de plus égale à KG' (fig. 4).

Les triangles semblables $IG'H$, MON donnent :

$$\frac{IG'}{IH} = \frac{MO}{MN} = \frac{L}{R}, \quad \text{d'où} \quad IG' \times R = L \times IH$$

mais

$$\overline{OH}^2 = \overline{OG'}^2 - \overline{G'H}^2 = (OK - KG')^2 - (\overline{GI}^2 - \overline{IH}^2)$$

et comme

$$\begin{aligned} OK &= R, \quad KG' = G'I, \\ \overline{OH}^2 &= R^2 - 2 R \times IG' + \overline{IH}^2 \\ &= R^2 - 2L \times IH + \overline{IH}^2 \\ &= R^2 - L^2 + (L - IH)^2 \end{aligned}$$

De cette égalité on déduit immédiatement $OH = R \cos$

$IH = L - \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$ et inversement, c. q. f. d.

II. — DIAGRAMME DE DISTRIBUTION

La propriété cinématique que nous venons d'établir permet, connaissant la position de l'extrémité de la bielle d'en déduire simplement et rigoureusement celle de la manivelle et réciproquement.

Cette propriété s'applique aussi bien au mouvement du piston qu'à celui du tiroir. Si donc on en fait simultanément l'application à ces deux éléments fondamentaux d'une machine à vapeur, on peut en déduire à chaque instant la loi de dépendance qui lie leurs positions. On pourra connaître par suite toutes les phases de la distribution et du travail de la vapeur.

Soit un tiroir commandé par une bielle de longueur l et un excentrique de rayon r avec un angle d'avance δ . Ce tiroir assure la distribution de la vapeur sur un piston mû par une bielle de longueur L et une manivelle de rayon R . La rotation ayant lieu de gauche à droite, faisons tourner l'excentrique de droite à gauche de $(90^\circ + \delta)$; la direction de la manivelle d'excentrique coïncidera alors avec celle de la manivelle motrice et la glace du tiroir aura la direction dd' faisant avec DD' , direction du mouvement du piston, un angle de $(90^\circ + \delta)$ (fig. 5). De O comme centre, aux échelles qu'il conviendra pour le

fermera quand le centre d'oscillation du tiroir après avoir dépassé cette position, y sera revenu.

Portons donc à l'échelle convenue le recouvrement extérieur O1 : quand le centre d'oscillation du tiroir est arrivé en 1, la position correspondante de la projection du tourillon de la manivelle d'excentrique sur la direction dd' du mouvement est au point 1' obtenu en joignant m à 1, prolongeant $m1$ jusqu'à sa rencontre k_1 avec la circonférence de rayon r et joignant nk_1 qui coupe dd' au point demandé.

Les positions de l'excentrique et par suite de la manivelle motrice qui correspondent à l'ouverture et à la fermeture de la lumière d'admission sont donc OR_1 et OR_2 obtenues en joignant O aux points r_1, r_2 d'intersection avec la circonférence décrite par le tourillon d'excentrique de la perpendiculaire menée par 1' à dd' .

La fin de la détente et la fin de l'échappement auront de même lieu quand le tiroir se sera déplacé en sens inverse, à partir de sa position moyenne d'une quantité égale au recouvrement intérieur O2 auquel correspond la position 2' pour la projection du tourillon de l'excentrique et OR_3, OR_4 pour les positions des manivelles.

La considération des recouvrements O3 et O4 (fig. 5) relatifs à la face de droite du piston donnerait de même les positions exactes de la manivelle correspondant aux diverses phases du travail de la vapeur.

Si l'on suppose les bielles infinies comme dans les procédés approximatifs de Recch, de Zeuner, de Reuleaux et M. Marcel Deprez, la direction des manivelles est donnée alors en joignant au centre O les points d'intersection avec la circonférence de l'excentrique des perpendiculaires à dd' menées par 1, 2, 3 et 4.

Une fois les positions de la manivelle connues, pour déterminer les positions correspondantes du piston on n'a qu'à projeter les extrémités R_1, R_2, R_3, R_4 du tourillon de manivelle motrice sur DD' . La position OR_2 de la manivelle motrice par exemple, donne ainsi le point H qui joint à N fait connaître le point K sur la circonférence décrite par la manivelle motrice. L'intersection I_3 de MK avec DD' fait connaître la position exacte du piston correspondant à la fin de la détente.

La même construction répétée pour les positions OR_1, OR_3, OR_4 de la manivelle motrice donne toutes les autres phases du travail de la vapeur sur la face de gauche du piston.

Il n'y a aucun changement à apporter à la construction pour la face de droite.

Dans les procédés approximatifs supposant les bielles infinies, on se borne pour avoir les diverses positions du piston à projeter les extrémités R_1, R_2, R_3, R_4 , des positions diverses de la manivelle sur la direction DD' du mouvement du piston.

Il est à remarquer que le diagramme de distribution exact présenté sous la

forme indiquée ci-dessus n'exige pour son tracé que l'emploi de droites sans aucune circonférence de construction. Il n'entraîne pas l'emploi de lignes se coupant sous des angles inférieurs à 45° environ, ce qui est avantageux au point de vue graphique. Ce diagramme indique donc d'une façon complète et exacte les déplacements du tiroir et du piston, les angles de rotation ; enfin il n'est pas en défaut, comme celui de Zeuner, et conserve au contraire toute sa rigueur quand les recouvrements intérieurs sont très petits. Cette dernière raison nous fait même préférer dans le cas de bielles infinies le tracé de Reuleaux à celui de Zeuner.

Sans insister, nous ferons remarquer en terminant que le tracé s'applique au cas où la distribution, au lieu d'être à tiroir unique, est à tiroirs superposés ou encore à plaques de détente.

SUR UN NOUVEAU

PROCÉDÉ DE COMMANDE DES TIROIRS DE DISTRIBUTION

au moyen de l'orientation facultative du collier d'excentrique

PAR

M. BONJOUR

(Planches 99-100-101 et 102)

Dans l'étude et la construction des mécanismes de distribution nous avons toujours remarqué, jusqu'à présent, la caractéristique suivante :

Le collier d'excentrique étant assemblé rigidement avec la bielle de traction ; il en résulte que, pour une rotation complète de l'arbre moteur, le centre du collier décrit un cercle ayant pour rayon l'excentricité même de la poulie excentrée.

Dans ces conditions, si l'on fixe son attention sur un point déterminé quelconque du collier d'excentrique, on peut observer que ce point décrit une courbe déformée par l'obliquité de la bielle de traction, et que cette courbe subit elle-même une déformation différente, suivant que l'observation a porté sur tel ou tel point du collier d'excentrique. La figure 1 planche 147-148 indique cette particularité, cette figure représente en même temps que le cercle décrit par le collier d'excentrique quatre courbes prises en des points du collier diamétralement opposés les uns aux autres.

Avec ce dispositif, il semble facile au premier abord, de pouvoir commander simultanément un tiroir de distribution et un tiroir de détente au moyen d'un seul excentrique ; mais cette solution n'est simple qu'en apparence ; aussi beaucoup de constructeurs lui ont-ils préféré l'adjonction d'un deuxième excentrique spécial pour le tiroir de détente.

En effet, les mouvements des deux tiroirs ne devant pas être simultanés, mais bien au contraire variés, il est indispensable que la commande du tiroir de détente soit faite par un excentrique placé sous un angle de calage différent. En d'autres termes, et dans le cas qui nous occupe, si l'on désire greffer sur le collier d'un excentrique unique, la commande d'un tiroir de détente, il faut que ce

mécanisme additionnel soit placé sous un angle différent de celui de la direction du tiroir principal.

De plus, il devient indispensable d'avoir recours à des renvois de mouvement pour actionner le tiroir de détente, qui lui, est placé sur le même angle de direction que le tiroir principal avec lequel il fonctionne parallèlement.

Il est à remarquer que, même avec cette complication, l'on ne peut obtenir qu'une détente fixe ; pour la rendre variable, il faut recourir à un second mécanisme additionnel analogue à ceux employés par Meyer, Bréval, Ryder, etc.

Frappé de ces multiples inconvénients, nous avons tenté d'obtenir la commande ainsi que la variabilité d'un tiroir de détente par des moyens beaucoup plus simples.

En examinant attentivement l'ensemble du mouvement produit par le mécanisme, composé de l'excentrique et de sa bielle, nous avons remarqué, qu'en articulant la bielle de traction sur le collier d'excentrique, il était possible de communiquer à celui-ci un mouvement angulaire sur son excentrique.

Cette remarque nous a conduit à la déduction suivante :

En orientant d'une façon particulière le collier d'excentrique soit au moyen d'un coulisseau, soit avec un système de leviers, il devra en résulter que tous les points pris sur le pourtour du collier seront nécessairement influencés d'une façon différente, (le mouvement du cercle décrit par le centre du collier se combinant avec celui de la ligne parcourue par l'orientation.)

Cette propriété est représentée par la figure 2, planche 147-148 ; le collier est orienté suivant la ligne AB et trois autres points, pris sur le pourtour du collier, tracent des courbes différentes ; deux de ces points décrivent des ellipses orientées différemment et le troisième décrit une courbe en forme de 8.

Le problème de la commande directe d'un tiroir de détente étant ainsi résolu, il restait à obtenir la variabilité de ses mouvements.

Nous avons pensé que s'il était possible d'arriver à reproduire sur un point déterminé du collier d'excentrique, les diverses courbes déjà obtenues sur des points différents, il serait possible de varier à volonté les mouvements transmis au tiroir de détente.

Ce résultat a été obtenu par un moyen d'une remarquable simplicité ; en modifiant l'orientation du collier et en faisant varier ainsi l'angle de direction de la coulisse ou des leviers.

Par l'examen de la figure 3, planche 147-148, on peut se rendre un compte exact du résultat obtenu.

Cette figure montre que, si l'on modifie l'orientation suivant les lignes AB, CD, EF, en faisant osciller la coulisse sur son axe (ainsi que le représente le dessin) il en résulte que trois points différents pris sur le pourtour du collier décrivent des courbes très différentes, et que, de plus, ces courbes sont différentes pour

chaque point, selon que le quatrième aura été orienté suivant l'une des directions des mêmes lignes AB, CD ou EF.

La figure 4, planche 147-148, indique bien le résultat que l'on peut atteindre en employant le mécanisme que nous avons imaginé.

Cette figure représente quatre courbes. A, B, C, D, obtenues par le même mouvement initial, engendré par un point déterminé pris sur le pourtour du collier d'excentrique; ces courbes sont plus ou moins déformées suivant que l'on fait varier l'angle de direction du mécanisme d'orientation du dit collier.

Cette figure montre également la richesse de déformation des trajectoires dont ce mécanisme est susceptible; non seulement les courbes et les espaces parcourus diffèrent sensiblement entre eux; mais, en outre, la direction même du mouvement peut être changée, ainsi que l'indique la courbe A.

L'étude approfondie de ce mouvement nous a permis de résoudre l'un des problèmes les plus difficiles concernant les mécanismes de distribution, problème consistant à opérer au moyen d'un tiroir unique l'admission et l'évacuation, tout en pouvant varier à volonté la durée des périodes d'admission, sans faire varier sensiblement les compressions et les avances à l'évacuation.

L'examen des deux courbes de régulation, représentées figure 5, planche 147-148, permet de se rendre compte que les périodes de compression et d'avance à l'évacuation restent sensiblement constantes, soit que la machine marche à faible charge et par conséquent avec la courbe de régulation A correspondant à une admission de 3 %, soit qu'elle fonctionne avec la courbe B, correspondant à une admission de 75 %.

Ayant décrit les principales particularités de ce mode de distribution, nous allons montrer maintenant une application de ce mécanisme.

Les figures 1 et 2 de la planche 149-150 représentent cette application consistant à commander directement les deux tiroirs de distribution et de détente avec le même collier d'excentrique.

Ce mécanisme présente cette remarquable particularité que l'action du régulateur en agissant sur l'orientation du collier d'excentrique, est sans influence sur les périodes d'avance et de compression par le tiroir principal, tout en ayant au contraire une très grande influence sur le tiroir de détente.

Nous allons expliquer le fonctionnement des divers organes en nous reportant aux lettres qui les caractérisent sur les figures 1 et 2 de la planche 149-150.

Les deux tiroirs sont conduits par les points A et B convenablement choisis sur le pourtour du collier d'excentrique; ce sont sur ces points que viennent s'articuler les bielles de traction des tiroirs.

Une troisième articulation C, prise également sur le collier, est mise en connexion par une bielle CD avec l'extrémité d'un levier coudé DEF; l'extrémité F est reliée au régulateur et l'axe d'oscillation E du même levier oscille dans un bossage venu de fonte avec le palier du bâti.

Supposons que le point D soit fixe, il s'ensuit que par la rotation de l'excentrique, le point C, se déplacera en restant toujours sur un arc de cercle décrit du point D, les points A et B, sur lesquels sont articulées les bielles, décrivent alors des courbes qui, tracées par points, détermineront les positions respectives des tiroirs.

Tant que le point D restera invariable, la détente restera fixe ; mais si le point F relié au régulateur se déplace et passe en F', par ce fait, D passera en D', il en résultera que l'arc de cercle qui oriente le point C en prenant un angle différent changera l'orientation du collier et les courbes décrites par les points A et B, en changeant et de moment, et d'amplitude, modifieront également la détente.

Les figures 3 et 4 de la planche 149-150 représentent l'épure cinématique du mouvement qui nous occupe, les mêmes lettres représentent les mêmes organes que dans la description qui précède, il sera donc facile, à l'aide de cette épure, de suivre pas à pas, les diverses phases de mouvement de ces organes.

Soit figure 1, AR le centre de l'excentrique correspondant au point mort arrière, M et N les positions de ce centre correspondant au point mort avant.

Divisons AV et AR en dix parties égales représentant, sur le cercle, des chemins proportionnels parcourus par le piston en tenant compte des obliquités de la bielle motrice.

La position D du centre d'oscillation du levier restant fixe si l'on fait tourner l'excentrique, l'articulation C du collier se déplacera suivant l'arc décrit par l'extrémité C du levier CD, oscillant autour du point D.

Dans ces conditions il est facile de tracer (en espaces correspondant à des parcours proportionnels à la course du piston) les courbes que décriront A et B, les distances respectives de ces points étant constantes ; il n'y aura ensuite qu'à placer le point D en D', puis dans la position moyenne, pour tracer de même et par points les nouvelles courbes que décriront les points A et B, nous obtiendrons ainsi le groupe des trois courbes A et celui des trois courbes B.

Maintenant, traçons dans ces groupes et avec des rayons égaux aux longueurs des bielles G et H des arcs passant par les points AV et AR de ces courbes, qui sont ceux correspondant aux points morts similaires du piston moteur.

Nous pourrons, dès lors, tracer sur le groupe A la régulation du tiroir principal, nous nous servirons des mêmes arcs pour tracer les bords des orifices et, partant de là, les avances et les recouvrements qui nous paraîtront les plus convenables pour les machines que nous aurons à établir.

Le tracé, représenté figure 3, démontre que, pour le tiroir principal et même avec des recouvrements égaux, les admissions ainsi que les avances et les compressions sont sensiblement pareilles pour les deux faces du piston, résultat qu'il n'est pas possible d'obtenir avec les excentriques ordinaires ; de plus, ces conditions restent constantes pour toutes les positions du régulateur.

Le tracé fait voir, en outre, que le tiroir principal ferme l'admission à 75 % avec 16 % de compression et une légère avance à l'évacuation, il est donc étudié pour une machine à un cylindre et à condensation.

Il ne reste plus qu'à montrer en quel point cessera l'admission par le tiroir de détente pour les trois positions du régulateur et suivant quelle loi les orifices sont découverts et obturés.

Cette détermination peut se faire au moyen de la figure 4 qui, par la superposition des ellipses, indique la marche corrélatrice des tiroirs.

Ayant tracé les ellipses A A' A'' du tiroir principal, nous leur superposons les extrémités des ellipses B B' B'' du tiroir de détente en ayant soin de faire coïncider les deux arcs correspondants aux points morts AV et AR.

On voit de suite que, pour la position D du levier, l'admission est nulle, la courbe A'' restant toujours à l'intérieur de la courbe B'', tandis que, pour la position extrême du levier, la courbe B vient couper la courbe A à 48 %, en moyenne, de la course du piston moteur, enfin, pour la position moyenne du levier la courbe B' vient couper la courbe A' à 16 %, en moyenne, de la course du piston.

Les parties hachurées en pointillé font voir suivant quelle loi les orifices sont découverts et fermés.

On remarquera que, pour les trois positions du régulateur, le tiroir principal découvre presque toute la largeur des orifices du cylindre, tandis que la course du tiroir de détente diminue au fur et à mesure que diminue la durée de l'admission.

COMMUNICATION

SUR UN

NOUVEAU TYPE DE MACHINE A VAPEUR ACCOUPLEE

dit « type compound français » b. s. g. d. g.

PAR

M. A. de LANDSÉE

INGÉNIEUR CIVIL

(Planches 103-104)

I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

1. — *Examen des conditions de marche d'une locomotive ordinaire.*—

Le type de la machine locomotive, telle qu'elle fonctionne aujourd'hui sur les nombreuses voies ferrées, comprend une machine à vapeur à haute pression, à deux cylindres d'égal diamètre, et dont les pistons actionnent deux manivelles à angle droit.

A l'aide d'un distributeur unique, la vapeur de la chaudière est admise simultanément dans les deux cylindres qui fonctionnent dès lors par double admission.

Les nombreux avantages que présente ce type de machine l'ont depuis longtemps classé dans la pratique comme le mieux approprié aux divers services d'un chemin de fer. Parmi les avantages en question, nous mentionnerons tout particulièrement celui qui résulte du rapport heureux entre le poids adhérent et la surface de chauffe de la chaudière, etc., etc.

Avec ce type de machine, si on varie l'admission dans les cylindres depuis 10 jusqu'à 80 % de la course, il est possible d'utiliser efficacement le poids adhérent dans les limites variant entre un dixième et un tiers, et de vaincre ainsi, d'une façon rationnelle les résistances essentiellement variables qui se produisent sur toute la ligne ferrée.

On peut donc facilement fournir :

Soit un minimum de travail, quand on marche à faible admission, sur un plan, avec une faible charge ;

Soit un travail moyen, correspondant à l'allure de la machine en marche normale ;

Soit un travail maximum, quand il faut produire les démarrages prompts et faciles des trains en arrêt, quand il faut attaquer franchement les fortes rampes quand il faut franchir les courbes prononcées, etc., etc.

Après avoir fait ressortir les grandes qualités de ce type, il y a cependant lieu d'observer qu'en principe, il ne saurait être classé dans la catégorie des machines économiques, si on le considère au point de vue de la consommation de la vapeur. Cela tient au degré trop limité de la détente dans les cylindres et à différents inconvénients inhérents aux organes de vaporisation, tel par exemple que celui résultant d'une surface de grille trop faible par rapport au charbon brûlé, etc.

Il s'en suit naturellement que la consommation de charbon par cheval et par heure est relativement beaucoup trop considérable si on la compare à celle de la machine du type *compound ordinaire*.

Dans ce type de machine, la vapeur est admise par fraction dans le petit cylindre, de diamètre un, où elle subit une première détente. Lorsqu'elle s'échappe, elle se rend dans un grand cylindre, de diamètre deux, où elle complète sa détente commencée seulement dans le premier cylindre. La vapeur s'en va ensuite au condenseur ou dans l'atmosphère.

Bien que le calage des manivelles à angle droit ait pour conséquence directe d'intercepter l'admission dans le grand cylindre bien avant la fin de la phase d'échappement dans le petit, et qu'il en résulte dans ce dernier des compressions se répétant à chaque coup de piston, la disposition de la machine *compound ordinaire*, permettant une détente très prolongée de la vapeur, n'exige qu'une consommation très faible de charbon par cheval et par heure.

Il est donc constaté qu'une machine *compound ordinaire*, avec petit et grand cylindre, est essentiellement économique. Seulement cet avantage n'est obtenu qu'en portant préjudice aux conditions essentielles de la puissance maximum de la machine, et en présentant le très grave inconvénient d'un démarrage lent et difficile, etc., etc.

Malgré cela, et afin de rendre la machine locomotive plus économique dans sa marche normale, on a tenté, plusieurs fois déjà, de la transformer en *compound ordinaire*, en grossissant l'un des cylindres. Des difficultés assez sérieuses de construction ont empêché jusqu'à ce jour de généraliser cette transformation.

2. — *Considérations ayant présidé à l'établissement du type « compound français »*. — En suivant l'ordre d'idées de l'article ci-dessus, et en maintenant d'une manière stricte les principes fondamentaux qui régissent les deux types

examinés dans cet exposé, on a été amené à créer un type de machine à vapeur accouplée, entièrement nouveau, à deux cylindres d'égal diamètre, que nous avons désigné sous le nom *type compound français*.

Dans ce système, les deux avantages dont il a été question ci-dessus, comme représentant les desiderata d'une bonne machine, c'est-à-dire possibilité de produire facilement la puissance maximum et possibilité de marcher économiquement se trouvent réunis et liés l'un à l'autre.

Il en résulte que le type *compound français* appliqué d'une façon judicieuse et pratique, non seulement aux machines locomotives mais aussi aux moteurs fonctionnant dans l'Industrie, est appelé à réaliser le complément tant cherché de la machine à vapeur actuellement en usage.

Indépendamment de l'application de ce nouveau type aux machines nouvelles, il peut encore être employé dans les machines existantes de terre et de mer moyennant une transformation très facile et très simple, à la condition que ces machines disposent de deux cylindres de diamètres égaux, avec manivelles calées à angle droit, et que la distribution de vapeur soit unique pour les deux cylindres.

Toutes les machines remplissant ces conditions, et notamment la grande majorité des locomotives actuellement en service, pourront, par une transformation simple et facile en type *compound français*, bénéficier largement des avantages économiques de ce système, sans perdre, comme avec les machines compound ordinaires, la faculté de pouvoir mettre éventuellement leur force maximum en évidence.

Ceci posé, nous allons entrer dans l'étude raisonnée du type *compound français*.

II. — DESCRIPTION DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS »

3. — *Machine fixe*. — Avant d'étudier l'application du système aux locomotives, nous allons décrire une machine fixe accouplée, établie en *compound français*, et représentée fig. 1 à 5, pl. 151-152.

Nous voyons dans ce plan :

Fig. 1, une coupe transversale suivant la ligne 1-2 de la fig. 3 ;

Fig. 2, une coupe transversale suivant la ligne 3-4-5-6 de la fig. 3 ;

Fig. 3, une vue en-dessus de la machine, l'un des cylindres étant coupé ;

Fig. 4, une coupe transversale suivant la ligne 7-8 de la fig. 3 ;

Fig. 5, un plan partiel par l'axe de la boîte à vapeur.

Dans ces diverses figures, les lettres ont les significations suivantes :

- A, Cylindre du côté droit ; ⁽¹⁾
- A', Cylindre du côté gauche ;
- B, Boîte chargée de distribuer la vapeur venant de la chaudière ;
- b, b', b'', b'''*, Lumières d'introduction ;
- C, Soupape de prise de vapeur ;
- c*, Tiroir en bronze de la boîte B ;
- d*, Tige du tiroir *c* ;
- F₁, Tuyau amenant la vapeur de la chaudière dans la soupape C ;
- e*, Tuyau d'introduction du cylindre A ;
- e'*, Tuyau d'introduction du cylindre A' ;
- f*, Tuyau d'échappement du cylindre A ;
- f'*, Tuyau d'échappement du cylindre A' ;
- F, Tuyau permettant à la vapeur de s'échapper dans l'atmosphère ou au condenseur ;
- g, g'*, Leviers d'attaque du tiroir C ;
- h*, Tringle réunissant le levier *g'* au levier à contrepoids *h'* ;
- h'*, Levier à contrepoids actionné par H ;
- H, Grand levier à manette commandant le tiroir *c* par l'intermédiaire des pièces *h', h, g', g, d* ;
- i*, Secteur guidant la marche du levier H ;
- K, Levier ordinaire de changement de marche de la machine.

Ceci posé, mettons le levier de changement de marche K, soit en I, position correspondant à la marche de la machine dans un certain sens, soit en I', position assurant la marche en sens contraire.

Si nous ouvrons la soupape C, la vapeur de la chaudière arrivera par le tuyau F₁, dans la boîte de distribution B.

Supposons qu'en ce moment, il y ait nécessité de fournir un travail maximum en marchant à double admission, c'est-à-dire en laissant arriver alternativement la vapeur de la chaudière dans chacun des deux cylindres A, A'.

Il n'y aura qu'à laisser le levier H dans la position représentée fig. 1, laquelle assure aux leviers *h', h, g, g'*, à la tige *d* et au tiroir *c* les positions indiquées dans la dite figure.

La vapeur trouvant libre les lumières *b, b'*, s'introduira par ces orifices dans les tuyaux *e, e'*, pour aller alternativement dans les cylindres A, A', suivant la demande de leurs tiroirs respectifs ; et, après travail dans chacun de ces cylindres, elle s'échappera par les tuyaux *f, f'*, les orifices *b'', b'''*, et le tuyau F.

Dans ces conditions, la machine admettant la vapeur à haute pression dans

1. *Observation*: Pour des vitesses de piston au-delà de 2 mètres par seconde, il y a lieu d'appliquer sur les couvercles d'avant et d'arrière du cylindre à haute pression A des petites soupapes de décharge en communication avec la boîte du tiroir.

les deux cylindres, il y a production de la force maximum que la machine peut fournir. Notre disposition permet donc d'obtenir ce résultat, qui, comme nous l'avons fait observer au paragraphe premier, présente de sérieux avantages surtout dans les locomotives.

Examinons maintenant la marche économique de la machine considérée, à laquelle on arrive en amenant brusquement le levier H dans la position H'.

Il est facile de voir que cette manœuvre, des plus simples du reste, déplace le tiroir *c* dans le sens de la flèche (fig. 1); et cet organe s'arrête quand il vient buter contre le taquet *t*.

A ce moment, la lumière *b'* de la boîte B est mise en communication avec la lumière *b''*, tandis que celle *b'''* est entièrement fermée par le tiroir *c*.

Il s'en suit que la vapeur à haute pression venant de la chaudière ne passe plus que par la lumière *b*. Elle se rend alors, par le tuyau *e*, dans le cylindre A que nous appellerons dans ce cas cylindre à haute pression. Elle y effectue son travail et s'échappe ensuite par le tuyau *f*, qui la conduit par la lumière *b''* sous la coquille du tiroir *c*, laquelle la met en communication avec l'orifice *b'*.

La vapeur passe alors par le tuyau *c'* qui la conduit au cylindre A' où elle travaille à basse pression pour s'échapper ensuite par le tuyau *f'*, par l'orifice *b'''*, et, enfin, par le tuyau d'échappement final F.

Dans ces conditions, caractérisées par la nouvelle position du tiroir *c*, la machine marche à simple admission dans le cylindre A, qui reçoit seul de la vapeur à haute pression. Après y avoir effectué son travail, cette vapeur se rend dans le second cylindre A', où elle agit à basse pression, pour s'échapper ensuite comme à l'ordinaire.

III. — MARCHE DE LA MACHINE DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS », AU POINT DE VUE DES EFFETS PRODUITS PAR LA VAPEUR.

4. — *Observations sur les conditions de compression.* — Si on fait le vide dans un vase contenant de l'eau, il se dégage de la vapeur, qui revient ensuite à l'état liquide aussitôt que le vide vient à disparaître, et sans pour cela produire un travail externe.

Dans le type « compound français », la vapeur venant de la chaudière pour se rendre dans le cylindre à haute pression A, entraîne toujours avec elle une certaine quantité d'eau, qui, par parenthèse, est assez considérable dans les locomotives.

Il vient s'ajouter à cette eau d'entraînement, celle qui se produit par condensation pendant l'admission.

Toute cette eau est forcément obligée de se transformer en vapeur pendant la

détente, d'après le principe énoncé ci-dessus. Toujours d'après ce même principe, il se produit, pendant la période de compression, une nouvelle condensation de cette vapeur, ce qui diminue dans une mesure considérable le travail négatif du cylindre à haute pression.

Pour que ce résultat soit obtenu, il faut évidemment que les orifices et les conduits de vapeur ne soient pas assez exigus pour faire naître des compressions anormales et réagir contre les effets ci-dessus spécifiés.

5. — *Examen du travail de la vapeur dans la machine du type « compound français », pendant la détente dans le cylindre A (haute pression).* Prenons comme exemple une locomotive transformée, en marche avec admission simple au cran de 50 %, le degré de détente qui suit cette admission étant d'environ 30 %, et les deux cylindres étant réglés de la même façon comme admission et comme détente.

Nous ferons observer en passant que nous choisissons ce degré à détente pour faciliter les calculs et les rendre plus saisissables, bien que le dit degré de détente soit le moins favorable.

Prenons le piston du cylindre à haute pression A au milieu de sa course, c'est-à-dire au commencement de la période de détente; le piston du cylindre à basse pression A' se trouve en ce moment à son point mort.

Le piston A a devant lui un volume de vapeur d'une demi-cylindrée (50 %), en communication avec le tuyau *f* dont le volume égale une cylindrée (100 %), et avec le cylindre A' dont l'admission vient d'être ouverte.

Pendant la période de détente dans le cylindre A (30 %), le piston A' n'a parcouru que 10 % environ de sa course.

Le volume de vapeur agissant à la fois devant le piston A et à l'arrière du piston A' était donc, au commencement de la détente en A représenté par $50 + 100 = 150$; et il est devenu après les 30 % de détente en A et les 10 % d'avance en A' : $50 + 100 - 30 + 10 = 130$. La diminution du volume de la vapeur considérée est donc de $150 - 130 = 20$ %.

Si donc, on pouvait dans l'espèce appliquer la loi de Mariotte, on constaterait, par le fait de la diminution de volume en question, une compression de $\frac{20}{150} = 13$ %, qui se ferait sentir à l'avant du piston A.

Mais, d'après ce que nous avons exposé à l'article 4, la période de compression du piston A provoque dans la masse de la vapeur des condensations qui viennent diminuer sensiblement la compression.

Nous sommes donc fondés à dire que la compression en avant du piston A n'est pas même de 13 %, ce qui constitue un travail négatif absolument négligeable.

D'ailleurs, les conditions dans lesquelles s'effectue cette compression en atténuent encore l'effet, si même elles ne le suppriment pas presque absolument.

Remarquons en outre que la compression commence avec la détente dans le cylindre A, c'est-à-dire au milieu de la course du piston. Or, à ce moment, le piston en question, sa tige, la crosse, le corps de la bielle, sont en pleine vitesse; et ces différents organes entrent dans la demi-course où ils doivent éteindre cette vitesse pour commencer une course en sens contraire.

La faible compression exigée en avant de A par le jeu des pistons sera donc amplement fournie par la force vive accumulée dans tous les organes du cylindre A (*haute pression*) en mouvement alternatif. Or, la compression en question se transmet naturellement à l'arrière du piston A' (*basse pression*) actuellement à son point mort, et concourt ainsi à sa mise en route et à celle des organes auxquels il est relié.

On voit donc, chose aussi remarquable qu'avantageuse, la force vive des organes du cylindre A communiquer en s'éteignant, celle, dont ont besoin les organes du cylindre A' pour leur mise en route; et cela, à chaque pulsation. Il est bon de remarquer que ce fait est le résultat de la marche spéciale du type « compound français », les manivelles étant calées à angle droit.

Nous avons chiffré le bénéfice résultant de ce que nous appellerons la « transmission des forces vives de A en A' », dans les locomotives à grande vitesse; et nous avons eu la satisfaction de constater que ce bénéfice est très sérieux.

En résumé, tout ce qui vient d'être dit sur la compression, d'ailleurs très faible, qui se produit à l'avant du piston A (*haute pression*), nous montre qu'elle ne peut être nuisible à la marche régulière et économique en « compound français »; et la pratique a par ses résultats constatés, justifié pleinement les prévisions théoriques.

6. — *Examen du travail de la vapeur, dans la machine du type « compound français », pendant la détente dans le cylindre A' (basse pression).* — Nous avons vu plus haut ce qui se produit dans le cylindre A (*basse pression*) pendant sa période de détente. Examinons maintenant ce qui se passe dans le même cylindre pendant la période de détente dans le cylindre A' (*basse pression*), au point de vue de la compression produite sur la face d'avant du piston A.

Dans l'hypothèse que nous avons admise, cette détente commence au milieu de la course du piston A', et dure pendant 30 % de cette course.

Or, pendant que la détente en question se produit, le piston A (*haute pression*) n'avance que d'une quantité égale à 10 % de sa course.

Au début de la détente en A', la communication entre ce cylindre et le tuyau b étant interceptée par le tiroir, tandis que l'avant du piston A se trouve en communication avec le dit tuyau, le volume de vapeur exerçant sa pression en avant de A est égal à 100 % (volume de la cylindrée A) + 100 % (volume du tuyau b) = 200 %.

Le volume à la fin de la compression en avant de A, devient, par suite de la course du piston A (10 %) : $200 - 10 = 190$ %.

Il en résulte alors une compression de $\frac{10}{200} = \frac{1}{20}$ qu'a dû produire le piston A à sa face avant.

Si les observations que nous avons présentées à l'article 4 ne venaient encore nous prouver que cette compression de $\frac{1}{20}$ ne se trouve même pas produite en réalité, la faiblesse de la valeur de cette compression la ferait rentrer dans la catégorie des effets absolument négligeables.

La contre-pression, dans le type « compound français », n'est donc aucunement à redouter dans tous les points d'une révolution complète de la manivelle.

IV. — COMPARAISON DU TRAVAIL DE LA MACHINE « COMPOUND FRANÇAIS » AVEC LA MACHINE COMPOUND ORDINAIRE.

7. — *Dans la machine compound ordinaire, les pistons sont ordinairement dans le rapport de 1 à 2 comme diamètres, et, par suite, de 1 à 4 comme sections et comme volumes engendrés.*

Dans ces conditions, par le fait même de son transvasement, la vapeur perd forcément la majeure partie de sa force expansive, puisqu'elle passe, en allant du premier cylindre dans le second, d'un volume 1 dans un volume 4.

La dépréciation ainsi produite en avant du piston à haute pression, en diminuant d'autant la compression fournie par ce piston, atténue bien les effets négatifs de cette compression et représente par suite un bénéfice ; mais ce dernier est trop chèrement acheté par la perte occasionnée dans la force disponible de la vapeur et dans le travail qu'elle pouvait produire avant la dépréciation considérée.

La supériorité du type *compound français*, au point de vue de la bonne utilisation de la vapeur, résulte précisément de ce que la vapeur ne perd aucunement sa force expansive en passant d'un cylindre dans un autre de même diamètre.

Il se produit bien à l'avant du cylindre à haute pression une compression que nous avons chiffrée au paragraphe précédent ; mais le travail négatif d'ailleurs très faible, qui en résulte n'est que peu de chose comparativement au bénéfice qui résulte de la conservation de la tension de la vapeur.

V. — APPLICATION DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS » AUX LOCOMOTIVES.

8. — *Dispositions auxquelles conduit cette disposition.* — La même planche 151-152 représente une machine locomotive à grande vitesse transformée en *compound français*, figures 6 à 11.

La première disposition permet :

1° La marche avec double admission dans les deux cylindres, pour produire quand cela est nécessaire le travail maximum ;

2° La marche avec simple admission soit dans le cylindre A et détente dans le cylindre A', soit *vice versa*, les deux correspondant à la marche normale.

Le compound français à triple effet comprend donc :

1° La marche avec double admission dans les deux cylindres ;

2° La marche avec admission en A et détente en A' ;

3° La marche avec admission en A', et détente en A.

Cette seconde disposition, tout en n'étant pas indispensable, a l'avantage de permettre de changer le travail des cylindres A, A', pour régulariser l'usure produite sur les organes en mouvement par l'action inégale de la vapeur dans les cylindres.

Sans être d'un ordre excessivement élevé, cet avantage n'est pas sans intérêt, étant donné qu'il est obtenu à l'aide d'un changement peu coûteux dans la disposition première.

9. — *Première observation sur le type compound français appliqué aux locomotives.* — La disposition en *compound français* dans les locomotives, est en principe la même que celle de la machine fixe décrite plus haut. Mais, un détail dans l'établissement des tuyaux *e, e', f, f'* présente un avantage spécial qui n'est pas sans importance.

Ces tuyaux, en effet, traversent la boîte à fumée, où des gaz à 350° les enveloppent en revaporisant l'eau entraînée par la vapeur, et celle qui s'est produite pendant le passage de cette vapeur dans le cylindre A.

Il y a de ce chef une énergie supplémentaire communiquée à la vapeur, laquelle représente un bénéfice d'autant plus sérieux qu'il est obtenu absolument gratuitement.

10. — *Deuxième observation sur les dispositions du compound français appliquées aux locomotives.* — Une machine locomotive transformée en compound français, ne donne par révolution d'une manivelle, quand on marche à admission simple, que deux coups d'échappement au lieu de quatre fournis en marche ordinaire.

L'appel d'air à travers le foyer se répétant moins souvent, il était à craindre que la constance de la pression dans la chaudière fût plus difficile à obtenir. Il n'en n'a rien été ; et les résultats pratiques obtenus jusqu'à ce jour démontrent que la chaudière fournit facilement la vapeur à une pression uniforme quelle que soit la durée de la marche en *compound français*.

Cela s'explique par les considérations suivantes :

La marche en *compound français* ne s'employant qu'en vitesse normale, la quantité de vapeur nécessaire est moindre que pour la période de travail maximum tels que démarrages, etc., pendant lesquelles on obtient la double admission.

De plus, la vitesse même de la locomotive aide alors puissamment au tirage.

Enfin, la transformation en *compound français* permettant de réaliser une économie de 17 à 22 %, la grille se trouve moins fatiguée que dans les machines ordinaires.

Elle produit la vaporisation moindre qui lui est demandée sans qu'il soit nécessaire d'activer aussi énergiquement le tirage que dans les types ordinaires.

VI. — RÉSULTATS OBTENUS JUSQU'A CE JOUR AVEC LES MACHINES EN COMPOUND FRANÇAIS.

11. — *Après de longs mois d'expériences, tant en France qu'à l'Etranger, sur une série de machines à marchandises, à voyageurs, à grande vitesse, transformées en compound français, on a pu constater une économie de 10, 12, 17 et 22 % suivant les cas, sur le charbon consommé en service régulier.*

Le rapport de M. Middelberg, directeur du service des machines aux chemins de fer Hollandais, en témoigne d'une façon catégorique (1).

On a constaté en effet :

1° Que la transformation en question ne changeait rien au travail fourni par une double admission dans les cas où celle-ci devient nécessaire : démarrages, attaques de fortes rampes, etc.

2° Que la marche en *compound français* n'empêchait nullement le maintien de la pression dans la chaudière.

3° Que le *lacet* résultant de l'action transversale de l'inertie sur les deux jeux de pièces en mouvement alternatif se trouve sérieusement atténué.

Ces avantages secondaires viennent encore s'ajouter à l'avantage principal relatif à l'économie et à celui permettant de fournir : soit un travail normal, en marchant à simple admission ; soit un travail maximum, en employant la double admission.

1. Voir la traduction dudit rapport à la fin de ce mémoire, page 219.

VII. — COTÉ ÉCONOMIQUE DES APPLICATIONS DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS. »

12. — *Transformation des Locomotives.* — Admettons qu'une série de 100 machines locomotives doive être transformée en *compound français*.

D'après devis détaillé, le coût de premier établissement, montage compris, est d'environ 1 500 francs.

Selon l'usage admis dans les Compagnies de chemin de fer, cette somme est amortissable dans l'espace de 10 ans. Elle occasionne donc annuellement une dépense de	150 fr.
à laquelle il convient d'ajouter un intérêt annuel de 5 %	75 »
et, pour entretien, divers, etc.	25 »
	<hr/>
Ce qui fait une dépense annuelle de	250 fr.

pour chaque machine.

Le bénéfice que retire chaque année la compagnie pour une machine transformée en *compound français* s'établit de la façon suivante :

Le parcours moyen d'une machine en service régulier est d'environ 3 600 kilomètres par mois. A raison de 10 mois de service sur 12, cela fournit un parcours annuel de 360 000 kilomètres.

En admettant une consommation effective moyenne de 10 kilogrammes de charbon par kilomètre, la consommation par machine et par an est de 360 tonnes.

D'après les résultats obtenus tant en France qu'à l'Étranger, le coefficient moyen d'économie est d'environ 17 %, dans les machines marchant en *compound français*.

L'économie de charbon se chiffre donc par 62 tonnes, qui, à 20 francs l'une représentent la somme de 1 240 francs.

En déduisant de cette somme la dépense d'entretien et d'amortissement établie ci-dessus, soit 250 francs ; il restera par machine, un bénéfice annuel de 1 000 francs.

Le prix coûtant de la transformation étant payable en deux annuités, la Compagnie retirera déjà dès la première année un bénéfice de 250 à 300 000 francs.

13. — *Bénéfices qui pourraient être réalisés si toutes les locomotives actuellement en service étaient transformées en compound français.*

On estime à environ 100 000, le nombre des locomotives actuellement en service dans le monde entier.

Si toutes ces machines se trouvaient transformées en *compound français*, l'économie qui en résulterait se chiffrerait de la façon suivante :

Pendant les deux premières années à raison de 300 francs par machine, 30 000 000 de francs.

Les années suivantes : 100 000 000 de francs.

14. — *Application du « type compound français » à toutes les machines.*

— Puisque les dimensions et dispositions des divers organes de ce nouveau type peuvent varier sans changer le principe fondamental qui le caractérise, on conçoit fort bien que le système en question puisse être appliqué avec fruit à toutes les machines de terre ou de mer autres que les locomotives.

Les bénéfices qui pourraient résulter de la transformation en « compound français » de toutes les machines auxquelles ce système est applicable ne peuvent malheureusement pas se chiffrer d'une façon même approximative.

VIII. — RÉPONSE A QUELQUES OBJECTIONS

AU SUJET DE L'APPLICATION

DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS » AUX LOCOMOTIVES

15. — *Séparation des distributions dans les deux cylindres.* — On a émis l'opinion que la séparation des distributions dans les cylindres est une des conditions essentielles pour obtenir une marche économique en compound français avec admission simple.

Cette opinion n'est nullement justifiée, ainsi que le prouve l'examen analytique que nous allons présenter.

La séparation des distributions de vapeur entraîne l'adjonction aux organes de commande existants, d'un deuxième arbre de relevage, d'une bielle de suspension, d'un levier avec secteur et mouvement à vis ; et cette séparation a pour objectif de permettre la réglementation indépendante des admissions de la vapeur dans les deux cylindres.

Supposons que nous ayons, dans une machine combinée de cette façon, et transformée en compound français, réglé l'admission dans le cylindre à haute pression à 50 % et celle dans le cylindre à basse pression à 80 %.

En construisant une épure, on observe le résultat final suivant :

Le piston du cylindre à basse pression A', au lieu d'intercepter l'admission à 50 % de sa course, avance encore de 30 % avec admission. Or, pendant ce parcours de 30 % le piston A (*haute pression*), partant de son point mort n'a parcouru que 10 %.

Au commencement de la détente dans le cylindre A', le volume de vapeur contenu dans le cylindre A, en avant de son piston, dans le tuyau *f*, et dans le cylindre A', à l'arrière du piston, peut donc être représenté par $100 + 100 + 80 - 10 = 270$ % d'une cylindrée.

Mais, dans le cas d'une admission de 50 % dans le cylindre A', correspondant à la marche avec admissions non séparées dans les deux cylindres, ce volume de

vapeur serait au commencement de la détente en A' : $100 + 100 + 50 = 250$.

Les admissions séparées n'ont pour effet que de diminuer la compression en avant de A dans le rapport entre 270 et 250, c'est-à-dire de 7,4 %, ce qui est insignifiant.

Si on met en parallèle avec ce léger bénéfice, la perte qui résulte de la diminution de la détente dans le cylindre A', on n'a pas de peine à se convaincre de l'inutilité des admissions séparées. Et comme cette dernière disposition entraîne un supplément d'organes pour commander les distributions séparément, ce qui augmente le prix de revient de la transformation d'une locomotive en compound français, cette dernière considération vient encore s'ajouter aux précédentes pour condamner le système des admissions séparées.

Nous sommes donc en droit de répondre à la première observation que nous venons de présenter :

Les distributions non séparées formant la base du système « compound français » remplissent d'une manière tout à fait satisfaisante toutes les conditions exigées pour une marche rationnelle et économique d'une machine.

16. — *Observation sur la qualification d'atténuante qui a été donnée aux machines transformées en compound français.* — Nous allons maintenant démontrer non moins clairement que cette qualification d'atténuante repose également sur une appréciation erronée des faits.

Il y a lieu de remarquer tout d'abord que toutes les machines locomotives ordinaires sont en principe atténuantes, en ce sens qu'elles peuvent, suivant les résistances à vaincre, admettre la vapeur à des degrés différents variant entre 80 et 10 % de la course des pistons.

La machine transformée en « compound français », par l'adjonction d'une boîte à vapeur de construction spéciale, présente identiquement les mêmes avantages.

Si nous comparons les deux types en marche normale, au double point de vue du poids de la vapeur agissant sur les deux pistons, et de celui enlevé à la chaudière pour chaque révolution, nous arrivons aux résultats suivants :

Dans la machine ordinaire à double admission, la marche normale correspond à une admission de 30 % dans les deux cylindres.

La vapeur, à 10 kilogrammes, a une densité de 5, qui nous donne pour la vapeur agissant sur les deux pistons : $2 \times 30 \times 10 \times 5 = 3000$ unités de poids par demi-révolution.

Supposons maintenant la machine en question transformée en compound français ; sa marche normale correspond à une admission de 45 % dans un seul cylindre.

Le poids de la vapeur travaillant dans le cylindre à haute pression sera dans ce cas :

$$1 \times 45 \times 10 \times 5 = 2250 \text{ unités.}$$

Mais cette vapeur se détend de 35 % dans le cylindre A, ce qui donne une première finale de :

$$45 \times 10 = (45 + 35) x$$

$$x = \frac{45 \times 10}{45 + 35} = 5.6$$

correspondant à une densité de 3.

Nous aurons donc, comme vapeur agissant en A' ;

$$1 \times 45 \times 5.62 \times 3 = 758 \text{ unités.}$$

Le poids total de la vapeur agissant dans les deux cylindres en compound français est donc de :

$$2250 + 758 = 3008 \text{ unités}$$

et ce chiffre est sensiblement égal à celui de la vapeur admise en travail dans la machine ordinaire.

Mais, au lieu d'introduire par demi-pulsation le volume de vapeur représenté par $2 \times 30 = 60$, qui nous a été nécessaire dans la machine ordinaire ; nous n'avons pris à la chaudière qu'un volume représenté par 45.

Il y a donc, dans le compound français, économie de $15/30 = 25$ % sur la consommation de la vapeur, dans la machine ordinaire, sans pour cela que le poids de la vapeur agissant dans la machine soit moindre.

Ces chiffres ont leur éloquence, et font voir clairement que la marche normale en « compound français » n'est nullement atténuante.

ESSAIS SUR UNE APPLICATION SPÉCIALE DE COMPOUND

aux machines locomotives existantes

PAR

G.-A.-A. MIDDELBERG

DIRECTEUR DES MACHINES DES CHEMINS DE FER HOLLANDAIS, D'AMSTERDAM

TRADUCTION DE A. DE LANDSÉE

Dans les anciennes théories sur les machines à vapeur, on ne tenait nullement compte de l'influence des parois des cylindres, c'est-à-dire que l'on n'admettait pas que les dites parois puissent donner lieu soit à une soustraction, soit à une addition de chaleur ; mais aujourd'hui, par contre, il n'existe plus de doute sur ce que, à chaque admission de vapeur dans un cylindre, et tout particulièrement pour les vapeurs à très haute pression, des pertes considérables de vapeur se font sentir et sont soustraites des vapeurs d'admission.

S'il était possible de garnir l'intérieur d'un cylindre avec un corps qui serait mauvais conducteur de la chaleur ou même de construire ce cylindre avec une matière analogue, l'effet obtenu serait bien plus important que celui que donnent les enveloppes actuellement en usage ; et les économies, en vapeur et en combustible, laisseraient bien loin derrière elles tous les résultats obtenus jusqu'à ce jour.

Le succès des machines compound, ainsi que celui des machines dites à triple expansion, est justifié en grande partie par la diminution de la condensation dans les cylindres.

Pour la machine locomotive, qui est une machine dont la vapeur travaille à une pression initiale de 10 à 12 atmosphères et qui, par suite de cela, présente une grande différence de chaleur entre la vapeur d'admission et celle de l'échappement, cette condensation devra naturellement être considérable.

J'en'ai pas connaissance d'essais récemment faits pour mesurer cette conden-

sation dans les cylindres et surtout d'essais se rapportant à des pressions de 10 atmosphères et plus ; pressions admises actuellement à peu près partout et j'aurai à mentionner plus loin les essais que j'ai faits moi-même sur cette question.

Pambour, lors de ses célèbres essais, trouvait, en comparant la quantité d'eau prise dans le tender à la quantité de vapeur résultant du calcul des diagrammes relevés sur les cylindres, une perte de 24 %, valeur moyenne.

Bauschinger calcule, en s'appuyant sur la forme de la ligne d'expansion de ses diagrammes, qu'à la fin de chaque phase d'admission, il se trouve 35 à 42 parties du poids de 100 parties d'eau, et encore la pression initiale de la vapeur de la chaudière ne dépassant pas 7 atmosphères.

Le Chatelier trouvait qu'une machine locomotive munie du système Meyer donnait 38 à 50 % de vapeur condensée pour une expansion de 1 à 5.

Bertera et Polonceau trouvaient pour une expansion de 1 : 4 une perte de vapeur moyenne de 52 %, tandis que pour celle de 1 : 3 elle était de 42 %. Vu la vaporisation rapide, une partie devra naturellement être mise sur le compte de la quantité d'eau entraînée. Je n'ai pu me procurer des renseignements exacts à ce sujet.

Ces renseignements donneraient d'ailleurs lieu à des essais assez difficiles à établir. Ce que nous savons c'est que, dans les chaudières ordinaires à vaporisation modérée, disposant d'une surface de chauffe convenable et de grands espaces pour emmagasiner la vapeur, conditions qui n'existent pas sur les machines locomotives, la quantité d'eau entraînée ne dépasse pas 4 %, d'après des essais très importants faits à cet égard.

En admettant pour les machines locomotives une quantité beaucoup plus grande d'eau entraînée, il restera néanmoins encore une partie considérable à porter sur le compte de la condensation précitée dans les cylindres.

Plusieurs essais très exacts et très concluants ont été faits pour déterminer le degré de condensation dans les cylindres des machines fixes. Pour les machines locomotives, ces essais seront toujours très difficiles à faire, car il faudrait, pendant la durée d'au moins deux heures, au milieu d'un service régulier d'exploitation, établir une allure régulière, donner pendant ce temps toujours le même degré d'admission, maintenir en permanence la même pression de vapeur dans la chaudière et empêcher les pertes par les soupapes. Ce n'est qu'à ces conditions, qui sont impossibles à réaliser, qu'un résultat avantageux pourrait être obtenu.

Hirn trouvait pour une machine sans enveloppe, pression de 5 atmosphères, une perte de vapeur de 60 %, dont 4 1/2 % sont attribués comme eau entraînée de la chaudière ; sur une machine de dimensions beaucoup plus grandes, cette perte était de 30 %.

Je fais encore mention des essais faits tout récemment à Sandy-Hook, Connecticut, E. U. d'Amérique.

La formule du professeur Thurston pour déterminer la condensation est :

$$= a \sqrt{\frac{1}{r}}$$

où r représente le degré d'admission et a une constante. Cette formule a été reconnue, en principe, comme étant vraie.

Pour la valeur a , avec les cylindres sous enveloppe, on a trouvé :

$$0.174 - 0.199.$$

Pour déterminer l'influence de la pression de la vapeur sur le degré de condensation, pour des admissions égales à des vitesses invariables, nous avons trouvé :

DIFFÉRENCE de la pression initiale et finale de la vapeur pendant l'admission et l'échappement		QUANTITÉ d'eau condensée dans un laps de temps déterminé	QUANTITÉ d'eau à la fin de l'admission par rapport à la quantité totale d'eau consommée	QUANTITÉ d'eau évaporée pendant la phase de détente	QUANTITÉ d'eau disponible à la fin de la course du piston
Admission 0,21 %	6	354 k.	35,24 %	11	34,24 %
	5	304	47,83	14	33,83
	4	222	36,84	11	25,84
	3	116	41,43	20	21,43
	2	72	41,19	24	17,19

Le changement de vitesse, en maintenant cependant la pression de la vapeur à 3 atmosphères, ainsi que le degré d'admission (0,96), donne les résultats suivants :

NOMBRE DE COURSES du piston par minute	QUANTITÉ D'EAU à la fin de l'admission par rapport à la quantité totale d'eau consommée
63	24,37 %
50	28,75
34	33,51

Quant aux essais, faits par M. le professeur Kennedy à l'University College, sur une machine compound sans enveloppe, on a trouvé les chiffres suivants :

PRESSION de la vapeur au moment de l'admission	RAPPORT de l'expansion	QUANTITÉ d'eau à la fin de l'admission dans le cylindre à haute pression par rapport à la quantité totale d'eau consommée	QUANTITÉ d'eau à la fin de l'échappement dans le cylindre à basse pression par rapport à la quantité d'eau consommée	QUANTITÉ d'eau rééaporée
2 ² / ₃ atmosph.	3,23	48,5 %	15,0 %	33,5 %
6 »	3,00	40,3	8,8	31,5
6 »	6,64	55,3	16,6	38,7
6 ¹ / ₃ »	8,25	63,1	18,0	45,1

Des essais analogues ont été faits déjà plusieurs fois et toujours avec le même succès.

La condensation de la vapeur pendant la phase de l'admission représente toujours une perte assez considérable ; perte qui, même avec la meilleure distribution existante, ne peut être regagnée. Toutes les tentatives ayant pour but d'arriver à réduire cette condensation dans les cylindres d'une machine à vapeur sont donc parfaitement justifiés.

En général, l'emploi des machines compound est donc à considérer comme un pas en avant notable. Cependant cet emploi, en ce qui concerne les machines locomotives, est bien limité et les dépenses relativement énormes qu'entraînerait son application aux machines existantes, dépenses nullement en rapport avec les bénéfices résultant de l'économie à réaliser, ont fait que, jusqu'à présent, on n'a pensé à l'appliquer qu'aux machines nouvellement construites.

Je m'empresse d'ailleurs d'ajouter que le dernier mot n'a pas encore été dit sur cette question, et, si l'on considère l'économie de sommes énormes qui s'y rattache, on comprendra que pour arriver à un résultat satisfaisant, il faut que cette question soit étudiée avec plus de soin qu'elle ne l'a été jusqu'à ce jour.

Pour donner suite à cette grave question de l'adaptation du système compound à une série de machines locomotives, nous avons appliqué à quatre machines du chemin de fer hollandais, savoir :

- 2 machines à grande vitesse,
- 1 machine à voyageurs,
- 1 machine à marchandises,

une disposition qui permettait de donner de la vapeur dans un seul cylindre pour la faire échapper ensuite dans l'autre, en guise d'introduction, tout en maintenant éventuellement la faculté de marcher comme à l'ordinaire, c'est-à-dire avec les deux introductions séparément et échappement ordinaire.

L'expansion de la vapeur est par conséquent répartie dans les deux cylindres ; toute la différence de chaleur, entre la température de la vapeur, lors de son admission, et celle lors de son échappement, est de même séparée en deux parties distinctes et attribuée à chacun des cylindres ; ce qui permet de constater qu'une des conditions du système compound est remplie.

En ce qui concerne l'autre condition, qui est primordiale, elle n'est pas remplie ; c'est-à-dire que, par le fait des volumes inégalement répartis dans les cylindres, l'augmentation d'expansion n'a pas été obtenue. Il s'ensuit que la dénomination « compound » n'est pas admissible dans ce cas, et j'ai préféré appeler ce mode de distribution « admission simple » en opposition avec « l'admission double » de la marche habituelle.

Les dispositions que j'ai employées sont indiquées dans les dessins qu'accompagnent cette note (fig. 13 et 14) et sont les suivantes :

1° Il a fallu séparer le mécanisme de la distribution de la vapeur de manière à pouvoir donner des admissions de vapeur de différentes valeurs dans les deux cylindres. Après plusieurs essais, j'ai trouvé que cette séparation n'est pas absolument nécessaire, puisque, pour des admissions égales dans les deux cylindres, l'effet de l'expansion se répartit sur tous deux.

La compression dans le cylindre à haute pression atteint cependant alors une valeur qui porte préjudice à la puissance de la machine. Les dessins indiquent suffisamment les dispositions d'exécution que j'ai adoptées pour avoir une distribution séparée.

2° Comme dans les machines compound, un tuyau d'échappement du cylindre à haute pression a été placé dans la boîte à fumée, afin qu'il puisse éventuellement servir comme tuyau d'admission dans le cylindre à basse pression. Une disposition de tiroirs K (fig. 13 et 14) moyennant laquelle on peut donner soit admission simple, soit double.

Ces dispositions permettent au mécanicien de conduire la machine d'après la manière ordinaire ou donner, suivant besoin, une admission simple. Cette dernière disposition qui peut être remplacée par celle de M. de Borriès, connue sous le nom de soupape de diminution de pression, avec cette différence cependant qu'une allure permanente de la machine ne pourra pas être obtenue, cette soupape étant uniquement réservée pour le démarrage.

La boîte K avec le tiroir *n* (fig. 14) se trouve placée sur le côté droit de la machine sur la boîte à fumée, et le mouvement du tiroir est obtenu par la tige *k*.

Les tuyaux de vapeur dans la boîte à fumée communiquent aux orifices d'introduction de la boîte K. Le tuyau O (fig. 13 et 14) part du tuyau d'échappement du cylindre, aboutit à la boîte K, donne communication au-dessous du tiroir à coquilles, sort de la boîte K par un orifice *ad hoc* et aboutit par un tuyau, en passant à travers la boîte à fumée, au tuyau d'admission du cylindre à basse pression. Le volume de ce tuyau correspond à une cylindrée.

Les figures 16 et 17 représentent deux diagrammes d'une machine qui avait les dispositions décrites ci-dessus. Dans les deux cas, la distribution du cylindre à basse pression donnait une introduction de $\frac{3}{4}$, tandis que celle du cylindre à haute pression donnait pour la première fois une admission de 0,35 et la deuxième fois de 0,25.

Des admissions plus grandes ont été exclues parce que la compression dans le cylindre à haute pression devenait trop grande et influençait de manière à réduire l'effet du travail utile de la machine.

Ainsi nous avons, depuis deux ans déjà, des machines munies d'un appareil en service continu. On peut dès à présent répondre à la question : Si l'effet inégal de la vapeur dans les deux cylindres ne produit pas une influence désavantageuse à son entretien ? et ensuite à la question : Si le degré de compression dans le cylindre à haute pression fait naître des secousses en augmente l'entretien dans les presse-étoupe ? ou enfin : Si à de grandes vitesses, pour lesquelles la distribution du cylindre à haute pression a été portée au degré d'admission maximum, la compression infime est encore suffisante pour permettre que le piston arrive, sans secousse, à son point mort et puisse le dépasser avec assurance dans le sens inverse ?

A toutes ces questions, nous pouvons répondre d'une manière tout à fait satisfaisante, puisqu'aucun inconvénient extraordinaire ne s'est produit par rapport à toutes les parties qui ont trait à ces questions.

En dehors d'une condensation très minime, qui ne peut être démontrée par le diagramme ci-joint, on trouve qu'à la suite du grand degré d'admission dans le cylindre à haute pression, une plus grande expansion a lieu et entraîne à sa suite une utilisation plus favorable de la vapeur.

Les figures 15, 16 et 17 représentent trois diagrammes. La première (15) correspond à l'entrée de la vapeur avec double admission dans les cylindres, et figures 16 et 17 l'admission double.

La force de traction pour ces deux cas, calculée d'après ces diagrammes, en omettant les résistances internes, et le tout réduit au contact des roues motrices, se trouve consignée dans le tableau suivant, en prenant pour base la consommation de vapeur pour chaque 1 000 kilogrammètres.

Sur ces diagrammes, la consommation de la vapeur est calculée, sans porter en compte la quantité d'eau contenue dans les cylindres, cela représente, par conséquent, simplement une valeur minimum théorique.

MODE DE TRAVAIL	1 (fig. 15) Double admission mode ordinaire	2 (fig. 16) Admission simple dans le cylindre à haute pression	3 (fig. 17) Admission simple dans le cylindre à haute pression
Travail en kilogrammètres par chaque course.....	7,320	9,988	7,320
Traction en kilogrammes.....	1,652	2,257	1,652
Dépenses de vapeur en kilogrammes pour 1000 kilogrammètres.....	0,0447	0,0353	0,0341

Il en résulte que l'effet de la vapeur, abstraction faite de la condensation moindre dans le cylindre à haute pression, n'est pas défavorable, au contraire elle est même plus avantageuse comme mode ordinaire de travail.

Ces dispositions offrent des résultats favorables, à la condition que la machine locomotive fasse un service régulier, pendant un laps de temps continu et assez long et, de plus, que, en même temps, la force de traction nécessaire puisse être vaincue par l'admission simple, car des admissions plus grandes ne donneraient plus de résultats avantageux. Ainsi, une demi-admission dans le grand cylindre est bien la plus grande qui corresponde à un effet de travail ordinaire d'environ 0,20 admission.

Cette disposition permet en outre d'établir une preuve très exacte et certaine de la consommation de houille à travail égal dans les deux modes d'admission.

En effet, il nous a été possible de l'obtenir, car nous pouvions travailler avec la même locomotive dans les deux modes de marche. Une machine à marchandises et une à voyageurs, munies toutes deux de cette disposition, ont travaillé pendant plusieurs mois pendant 1886 et 1887; chaque mardi ces deux machines conduites par les mêmes mécaniciens prenaient les mêmes trains.

Le premier jour elles marchaient avec admission double dans les deux cylindres et le lendemain uniquement avec admission simple et continuaient en alternant chaque jour. La consommation de charbon était pesée exactement chaque soir.

La locomotive à voyageurs faisait le service moitié grande vitesse, moitié service de voyageurs, et celle à marchandises moitié avec wagons chargés et moitié légèrement chargés. Le mécanicien de cette dernière ne devait se servir de l'admission double que pour les rampes de 10 kilomètres de longueur.

Le mécanicien de la machine à voyageurs n'a dû, qu'une fois, pendant les

longs mois de son service, un jour de grande tempête, se départir de la règle prescrite.

Le tableau suivant donne les résultats de ces essais :

KILOMÈTRES parcourus	MODE d'admission de la vapeur	CONSUMMATION DE HOUILLE en kilogrammes		CONSUMMATION en moins pour admission simple
		totale	par train-kilo- mètre	
a) MACHINE LOCOMOTIVE A VOYAGEURS, 2 ROUES ACCOUPLES : $\frac{0,406 \times 0,558}{1,860}$				
15.772	double admission	134.920	8,55	
14.952	simple	116.520	7,79	8,9 %
b) MACHINE A MARCHANDISES, 3 ROUES ACCOUPLES : $\frac{0,457 \times 0,610}{1,41}$				
5.702	double admission	69.080	12,11	
4.224	simple	45.960	10,88	10 %

Après avoir terminé ces essais, les machines sont rentrées dans le service ordinaire de l'exploitation.

Quoique les résultats obtenus aient été avantageux, il y a cependant à prendre en considération qu'en raison du prix de première installation qui s'élevait à environ 1700 marks par machine, on n'a pas pu procéder immédiatement à la transformation de toutes nos machines.

L'économie de combustible obtenue par l'emploi de cette nouvelle disposition est mise hors de doute, quoique suivant le cas elle pourrait être moindre comme elle pourrait être plus grande. Il se peut et nous avons l'espérance qu'à la suite de nos essais, la grave question relative à une utilisation plus rationnelle de la vapeur trouvera une solution — encore plus satisfaisante que celle décrite ci-dessus.

Au moment où je faisais mes essais, j'ai appris par hasard qu'un brevet anglais, en date du 27 septembre 1884, n° 12 904 poursuivait un but tout à fait analogue. L'inventeur est M. le baron de Landsée.

Je n'ai pas encore pu me procurer de données précises sur la réussite de cette application.

En résumé : Par l'application de cette nouvelle disposition, un succès absolu est assuré, à la condition cependant que la machine la reçoive dès la première construction ; car les dépenses pourraient y être comprises et ne varieraient que peu par rapport au coût de sa première acquisition.

Aussi, avons-nous commandé immédiatement quatre nouvelles locomotives chez M. Borsig, à Berlin.

Ces machines devront être munies de la nouvelle disposition du dérivé compound, et les résultats obtenus feront l'objet d'une nouvelle communication que nous publierons d'ici à quelque temps.

M. Middelberg, dans un deuxième article, rend compte de l'adaptation du système anisométrique à quatre nouvelles machines mais avec une disposition spéciale, c'est-à-dire que le cylindre à basse pression avait bien le même diamètre que celui à haute pression, seulement la course du piston de ce cylindre a été portée au double de celle du cylindre à haute pression.

Après un service régulier de plusieurs mois l'économie constatée sur le combustible était de 17 %.

NOTE SUR L'AÉRO-CONDENSEUR

PAR

M. F. FOUCHÉ

INGÉNIEUR

PRÉLIMINAIRES

On connaît l'importance capitale que présente la marche à condensation pour les moteurs à vapeur.

L'emploi du vide obtenu par la condensation de la vapeur permet en effet de réaliser sur le combustible une économie de $1/3$ à $1/4$ de la dépense totale, suivant le système de moteur et suivant le degré de vide obtenu, variant le plus ordinairement entre 60 et 70 centimètres de mercure dans les condenseurs à eau.

Jusqu'en ces derniers temps la condensation a été faite exclusivement au moyen de l'eau, soit amenée directement au contact de la vapeur dans le condenseur à mélange, soit séparée par une paroi de la vapeur dans le condenseur à surface.

Dans la plupart des cas, une bien faible partie de la chaleur contenue dans l'eau ayant servi à la condensation, 5 à 10 % au plus, peut être réemployée sous forme d'eau servant à l'alimentation des générateurs, le reste est perdu.

CONDENSATION PAR L'AIR

Il était donc naturel de chercher à obtenir la condensation par une autre matière que l'eau, par l'air par exemple, car l'air chaud ainsi obtenu présente dans un grand nombre d'industries, un emploi précieux en vue de chauffage de bâtiments ou du séchage de produits de toute nature.

DIFFICULTÉ INHÉRENTE A CE SYSTÈME

Mais ici on se heurtait à de grandes difficultés provenant de la faible capacité calorifique des gaz, comparée à celle de l'eau et à la difficulté de faire passer

d'une façon économique une quantité importante de chaleur à travers une paroi refroidie par de l'air.

Effectivement une paroi séparant de la vapeur et de l'eau laisse passer par heure et par degré d'écart entre les deux températures environ 1000 calories.

Tandis que si l'eau est remplacée par de l'air dans les conditions ordinaires, la transmission se trouve réduite à 12 calories par degré d'écart des températures.

On eut été ainsi conduit à adopter des appareils à condensation par l'air, d'une surface considérable et par suite d'un prix qui n'aurait pas permis leur admission par l'industrie.

COMMENT ELLE A ÉTÉ RÉSOLUE

Cette difficulté réelle a été tournée de la manière suivante :

On sait que le refroidissement d'une paroi se fait à la fois par rayonnement et par contact dû à la matière refroidissante. Il y a donc grand intérêt pour augmenter la transmission de la chaleur à travers une paroi, à créer la plus grande agitation possible au contact de cette paroi.

C'est sur ce principe qu'il a fallu s'appuyer et c'est en renouvelant constamment l'air autour de l'enceinte remplie de vapeur qu'on a pu en activer dans une large mesure la condensation.

DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'AÉRO-CONDENSEUR

L'appareil adopté pour la condensation de la vapeur par l'air se compose donc en principe, d'un faisceau de tubes verticaux renfermant la vapeur d'échappement du moteur sur lesquels un ventilateur à ailes en hélice lance un vif courant d'air ; l'eau produite par la condensation se réunit dans une chambre à la partie inférieure des tubes et en est extraite par une pompe à air.

En somme cet appareil n'est autre chose qu'un condenseur à surface dans lequel on a remplacé l'eau produisant la condensation par de l'air lancé par un ventilateur.

DIFFICULTÉS INHÉRENTES AU GRAND VOLUME D'AIR A METTRE EN MOUVEMENT

Mais ici encore dans la disposition de ces appareils se présentait une grave difficulté.

Quoique ayant augmenté par une grande agitation le pouvoir de refroidissement de l'air, il n'en fallait pas moins débiter une quantité très importante d'air

pour obtenir la condensation de la vapeur, surtout en vue de l'obtention d'un vide convenable.

Cette quantité d'air est en moyenne de 8000 mètres cubes à 10° pour condenser 100 kilogrammes de vapeur.

DISPOSITIONS SPÉCIALES

Il est donc nécessaire de mettre cet air en mouvement en dépensant le moins de travail possible et ce résultat a pu être obtenu en disposant le condenseur de manière à créer le moins de résistances possibles et surtout en établissant un ventilateur disposé de manière à diminuer les pertes de charge de l'air à l'entrée et à la sortie, à empêcher tout mouvement de l'air en sens inverse du mouvement général et possédant des ailes dont le tracé corresponde d'une façon rigoureuse à la vitesse de l'air et à la pression qu'il doit posséder pour vaincre les résistances du condenseur, et les résistances extérieures quand il y a lieu d'en tenir compte.

AVANTAGES DE LA CONDENSATION PAR L'AIR

Dans toutes les usines où il y a de grands séchages à faire, la condensation par l'air est tout naturellement indiquée, car on obtient alors une utilisation complète de la chaleur tout en marchant à condensation, c'est le cas pour les mégisseries, tanneries, fabriques de colle, fabriques de pâtes alimentaires, fabriques de porcelaines, lavage de laines, blanchisseries, fabriques de carton, scieries de bois, fabriques d'engrais, etc.

Dans les usines où il n'y a pas de séchages à faire, mais où il y a des ateliers à chauffer, l'air chaud sera utilisé pendant 6 ou 7 mois, ce qui est encore un résultat intéressant.

D'autre part la condensation par l'eau exige 200 à 300 litres d'eau par cheval et par heure, si l'usine n'est pas sur le bord d'une rivière, cette eau coûte toujours cher, soit qu'on l'achète, soit qu'on fasse forer un puits.

Ces raisons conduisent souvent à renoncer au bénéfice de la condensation pour des machines de moyenne ou de petite force, l'économie qu'elle procure ne compensant plus les dépenses qu'elles nécessite. L'aéro-condenseur permet alors d'atténuer ou de supprimer ces dépenses en appliquant la condensation dans beaucoup de cas où on n'aurait eu aucun avantage à le faire, parce qu'on trouve dans l'utilisation de l'air chaud une compensation aux dépenses qu'entraîne son installation.

Enfin dans la plus grande partie de la France, il est impossible de forer des puits artésiens, on n'a que des puits d'infiltrations qui peuvent donner quelques

mètres cubes d'eau par jour, mais non les quantités considérables qu'exige la condensation; dans certains cas, on n'en peut pas avoir du tout, et l'alimentation du générateur devient difficile; l'aéro-condenseur est alors le seul moyen d'obtenir le vide.

En résumé, l'aéro-condenseur permet d'utiliser la chaleur perdue des machines à condensation, ce qui n'avait pas été fait jusqu'ici. Il augmente, dans une très forte proportion, le nombre des cas où la condensation peut être appliquée.

UTILISATION DE L'EAU DE CONDENSATION

L'aéro-condenseur, étant un condenseur par surfaces, permet de recueillir entièrement l'eau provenant de la condensation pour la réemployer à l'alimentation du générateur, en séparant les matières grasses.

Cette séparation s'obtient d'une façon presque complète au moyen d'un appareil basé sur l'application de la force centrifuge; l'eau recueillie ne renferme plus que des traces de matières grasses.

Il y a ainsi récupération complète de l'eau d'alimentation, et par suite une machine, munie d'un tel condenseur, peut fonctionner pendant plusieurs mois avec un approvisionnement d'eau de quelques mètres cubes seulement.

Ce cas s'est présenté plusieurs fois pour des phares et des forts isolés.

VIDE OBTENU

Le degré de vide obtenu par l'aéro-condenseur est variable, suivant l'application qu'on en fait, et suivant la température extérieure.

Quand on a en vue, par exemple, l'utilisation de l'air chaud pour un séchage, et qu'on désire que l'air chaud soit lancé sur le produit à une température de 45° par exemple, comme il faut d'autre part qu'il existe entre la température de cet air et celle de l'intérieur du condenseur un écart de 25 à 30 degrés au moins, permettant la transmission de la chaleur d'une façon suffisamment économique, on voit que la température intérieure sera dans le condenseur de 65 à 70°, ce qui correspond à un vide de 50 à 55 centimètres de mercure.

Quand, au contraire, on n'a en vue que la condensation pure et simple, il vaut mieux abaisser la température de l'air chaud en augmentant son volume; la température intérieure peut être alors ramenée à 60°, ce qui correspond à un vide de 60 à 62 centimètres de mercure. En hiver, avec une température de + 8 à + 10° pour l'air froid, le vide peut aller facilement jusqu'à 65 centimètres de mercure.

TRAVAIL EXIGÉ PAR LA CONDENSATION.

Ce travail est presque exclusivement composé par celui nécessité par la mise en mouvement de l'air, et, comme il faudra d'autant plus d'air qu'on voudra avoir un meilleur vide, on comprend donc qu'il y aura un point où l'effet utile sera maximum. et, qu'au delà d'un certain degré de vide, le travail nécessaire en vue de son augmentation serait plus grand que le bénéfice qu'on en pourrait retirer. C'est donc ce point qu'il faut chercher, et, dans la majorité des cas, il correspond à un vide de 55 centimètres de mercure, en été, avec température extérieure moyenne de 20 à 24°; et en hiver à 65 centimètres de mercure avec température extérieure de + 8°.

Il a été fait, au sujet du travail demandé par la condensation par l'air, de nombreuses expériences, dont nous allons citer quelques-unes.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES.

Dans une première expérience, il a été condensé par heure, dans un aéro-condenseur, 329 kilogrammes de vapeur avec un vide de 46 centimètres de mercure.

Cette expérience a été faite en été avec de l'air pris à + 24°, échauffé par la condensation à 47° 1/2, le ventilateur débitant 25 300 mètres cubes par heure.

Le travail demandé par le ventilateur a été trouvé de 1 cheval 75, ce qui correspond à une condensation de 188 kilogrammes de vapeur condensée par heure pour une force d'un cheval nécessaire à cette condensation.

Dans une deuxième expérience, il a été condensé par heure 365 kilogrammes de vapeur avec un vide de 50 centimètres.

Cette expérience, faite également avec de l'air pris à + 24°, échauffé seulement à 43° 1/2, le ventilateur débitant 34 400 mètres cubes par heure, a demandé 3 chevaux 52, ce qui correspond à une condensation de 103 kilogrammes de vapeur par cheval et par heure.

Enfin, dans une expérience faite sur un aéro-condenseur, fonctionnant pour séchage de carton, expérience faite en présence et par les soins du directeur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Seine, il a été relevé les résultats suivants :

Poids de vapeur condensée par heure, 388 kilogrammes, avec un vide de 41 centimètres, au moyen d'air à une température de 24°, chauffé à 45° 1/3, le ventilateur débitant 33 400 mètres cubes par heure.

Cette expérience a été faite dans des conditions défavorables, en ce sens que l'air chaud était nécessité par les besoins de l'industrie, en plus grande quantité qu'il n'eût fallu pour avoir l'effet utile maximum fourni par le ventilateur, et en outre le vide pour la même raison n'a pu monter au-dessus de 41 centimètres.

Dans ces conditions, le travail demandé par le ventilateur correspond à 1 cheval pour 125 kilogrammes de vapeur condensée par heure.

Nous voyons donc que, même dans ces conditions désavantageuses, l'emploi de l'aéro-condenseur procure une grande économie par rapport à la marche à échappement libre, en tant que condensation pure et simple, sans même tenir compte de l'emploi ultérieur de l'air chaud.

On voit donc que l'aéro-condenseur peut supporter la comparaison avec les condenseurs ordinaires, tant au point de vue du vide qu'il donne, qu'au point de vue du travail qu'il prend.

Il est inférieur aux condenseurs à eau qui ont de l'eau en abondance et près du sol, mais il est supérieur à ceux qui n'ont que de l'eau peu abondante ou à grande profondeur.

CONDENSATION PAR L'AIR HUMIDE.

Pour le cas où l'on n'aurait pour but que la condensation, sans avoir aucune utilisation de l'air chaud, on augmente à la fois la capacité calorifique de l'air et la facilité de transmission de la chaleur, en arrosant les surfaces de chauffe, de telle sorte que l'air se sature d'humidité en même temps qu'il s'échauffe.

L'aéro-condenseur à air humide, basé sur ce principe, n'exige plus que 6 chevaux pour 2000 kilogrammes de vapeur condensée, soit 330 kilogrammes de vapeur condensée par force de cheval et par heure. Il donne le vide de 60 à 65 centimètres de mercure en toute saison.

PRIX D'ÉTABLISSEMENT.

Quant au prix d'établissement pour 100 kilogrammes de vapeur condensée, il est d'environ 1 500 francs avec l'aéro-condenseur à air sec, et 800 francs pour le condenseur à air humide. Ces prix sont bien souvent inférieurs à ceux que coûterait un condenseur ordinaire à injection avec un puits et les pompes nécessaires.

RÉSUMÉ.

Ainsi, l'aéro-condenseur permet d'utiliser la vapeur perdue des machines à condensation; il permet d'adopter la condensation dans un grand nombre de cas où la condensation par l'eau serait sans intérêt; il permet de la réaliser là où elle serait impossible par tout autre moyen; il permet de récupérer entièrement l'eau distillée, et, aidé du séparateur centrifuge, il rend à la chaudière de l'eau parfaitement pure.

Enfin, il n'exige ni beaucoup plus de travail, ni beaucoup plus de dépenses qu'un condenseur à eau ordinaire, et il demande, par contre, beaucoup moins d'entretien.

C'est donc à tous les points de vue un appareil d'un très grand intérêt, soit au point de vue des machines, si on le considère comme condenseur, soit au point de vue du séchage et du chauffage.

SIXIÈME QUESTION

MACHINES THERMIQUES

autres que les machines à vapeur d'eau

RAPPORT DE M. J. HIRSCH

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES

EXPOSÉ ET DIVISION.

L'étude des moteurs thermiques est une des plus importantes et peut-être la plus difficile de celles qui sont soumises aux délibérations du Congrès. Le Comité d'organisation m'a fait l'honneur de me proposer de traiter cette question; il aurait pu trouver, sans chercher beaucoup, soit en dehors de lui, soit parmi ses membres, des ingénieurs infiniment plus compétents et mieux préparés sur la matière. Toutefois, je n'ai pas cru qu'il me fût possible de décliner cette tâche, si ardue qu'elle puisse être.

D'ailleurs, il n'est pas question ici d'une étude complète et détaillée; dans l'esprit du Comité, il s'agit simplement d'établir une sorte de programme préparatoire, un canevas simple et sommaire, sur lequel pourront se développer librement les discussions au cours des séances du Congrès.

Je me contenterai donc de résumer rapidement l'état actuel de la question des moteurs thermiques, et d'indiquer quelques-uns des points qui restent encore obscurs, et sur lesquels des recherches nouvelles sont à désirer. Enfin, je chercherai à établir un court programme des sujets qui semblent pouvoir être utilement discutés.

COMPARAISON AVEC LA MACHINE A VAPEUR.

Lorsqu'on étudie les effets dynamiques obtenus par l'action de la chaleur, il semble impossible de ne pas parler, ne fût-ce qu'à titre de comparaison, des

moteurs thermiques qui sont, jusqu'à ce jour, les machines industrielles par excellence, des moteurs qui empruntent leur puissance à la chaleur par l'intermédiaire de la vapeur d'eau. Cette comparaison, entre les machines à vapeur ordinaires et les autres machines thermiques, est venue naturellement à l'esprit de tous ceux qui se sont occupés de la transformation de la chaleur en travail : elle a été présentée sous bien des points de vue différents.

En se plaçant au point de vue purement abstrait, on a pris, comme base de comparaison, le *rendement théorique maximum*. On arrive ainsi à un résultat remarquable : étant donnés divers moteurs, utilisant comme intermédiaires différents fluides, la vapeur d'eau, une vapeur quelconque, un gaz ou même un corps quelconque, entre les mêmes limites de température, le rendement théorique maximum est le même, quel que soit le corps intermédiaire.

Dans cet énoncé, on entend par *rendement théorique maximum* la fraction de la chaleur dépensée qui disparaît sous forme de travail. Ce rendement est obtenu si l'on suppose que toute perte de travail et toute chute de température sans effet utile aient pu être évitées.

Ce théorème se déduit directement des principes fondamentaux de la thermodynamique et présente le même degré de certitude que ces principes, lesquels sont généralement admis comme incontestables. Toutefois si, en lui-même, il prête peu à la critique, il en est tout autrement des conséquences que l'on a cherché parfois à en déduire.

On a dit, par exemple : du moment que le rendement est le même, quel que soit le fluide intermédiaire, il importe peu que ce fluide soit une vapeur ou un gaz quelconque ; or, la vapeur d'eau est, pratiquement, le fluide le plus commode à manier ; donc c'est celui qui permettra de se rapprocher le plus des conditions théoriques ; en conséquence, la machine à vapeur d'eau présente une telle supériorité qu'il est inutile de poursuivre l'étude des autres machines thermiques.

Cette conclusion décourageante ne saurait être acceptée sans réserve ; nous n'insisterons pas pour le moment sur le vague et le défaut de précision d'un pareil raisonnement, longtemps accepté comme péremptoire ; il semble plus utile de montrer comment ce verdict exclusif, prononcé en faveur de la machine à vapeur, a été cassé par les faits ; nous prendrons nos exemples dans la pratique la plus courante.

Comparons, au point de vue du rendement thermique, une machine à vapeur ordinaire avec une machine à gaz ordinaire.

Une excellente machine à vapeur de l'industrie consomme, par heure et par cheval effectif, une quantité de houille qui ne descend guère au-dessous d'un kilogramme ; or, 1 kilogramme de bonne houille à vapeur représente une puissance calorique de 8500 calories.

Une machine à gaz ordinaire consomme, par heure et par cheval effectif, en

viron 1 mètre cube de gaz, dont la combustion développe en moyenne 5300 calories.

Ainsi, pour produire une même quantité de travail (1 cheval-heure), la machine à gaz consomme $\frac{1}{3}$ de chaleur en moins que la machine à vapeur; le rendement thermique de la première est de plus de 50 % supérieur à celui de la seconde.

Il ne sera pas hors de propos d'insister sur les chiffres qui ont servi de base à cette comparaison. Une consommation d'un kilogramme de houille par heure et par cheval effectif implique une machine à vapeur à condensation, puissante, très parfaite, très soigneusement conduite et entretenue. Il est d'ailleurs à remarquer que la machine à vapeur a aujourd'hui une existence industrielle deux fois séculaire; que les ingénieurs les plus éminents, les chercheurs les plus intrépides n'ont cessé de s'attacher à l'améliorer; qu'elle est arrivée à un degré de perfection qui ne laisse plus beaucoup de place à des progrès ultérieurs.

La machine à gaz, au contraire, est née d'hier; ses applications industrielles sont toutes modernes et infiniment moins étendues que celles de la machine à vapeur; la théorie des moteurs à gaz est à peine ébauchée; et, de fait, l'indicateur de Watt, appliqué sur ces moteurs, montre avec toute évidence que leur fonctionnement est encore extrêmement éloigné des conditions théoriques assurant un rendement élevé. Et néanmoins, avec ces moteurs, le chiffre d'un mètre cube de gaz par cheval-heure est réalisé couramment, même pour des puissances fort modérées.

Ainsi donc, au point de vue exclusif du rendement thermique, la machine à gaz, si imparfaite qu'elle soit encore, l'emporte haut la main sur les machines à vapeur les plus perfectionnées. C'est là un fait d'un grand intérêt, qu'il était important de rappeler dès le début de cette étude.

Cette question du rendement est sans doute loin d'être la seule à examiner; d'autres considérations doivent intervenir, qui sont parfois d'une importance plus grande encore. Néanmoins, pour ne pas interrompre cet exposé, nous allons l'étudier plus en détail, et rechercher comment il peut se faire que le rendement d'un moteur thermique quelconque, d'une machine à gaz par exemple, puisse être beaucoup plus élevé que celui des meilleures machines à vapeur.

DÉCOMPTE DE LA CHALEUR CONSOMMÉE PAR UNE MACHINE A VAPEUR.

A cet effet, nous analyserons le fonctionnement d'une machine à vapeur, considérée comme machine thermique, et nous étudierons comment se répartit la chaleur qui lui est communiquée.

Prenons, comme plus haut, une très bonne machine à vapeur à condensation, consommant par heure et par cheval effectif 1 kilogramme de bonne houille pour vapeur.

Un cheval-vapeur, travaillant pendant une heure, représente une quantité de travail de

$$75 \times 60 \times 60 = \dots\dots\dots 270\,000 \text{ kgm.}$$

1 kilogramme de houille correspond, comme pouvoir calorifique, à 8500 calories.

Si toute cette chaleur était transformée en puissance mécanique utilisable, à raison de 425 kilogrammètres par calorie, le travail correspondant serait de

$$8500 \times 425 = \dots\dots\dots 3\,612\,500 \text{ kgm.}$$

Le rendement calorique de la machine à vapeur considérée n'est donc que de

$$\frac{270\,000}{3\,612\,500}, \text{ soit } 7\frac{1}{2} \% \text{ environ.}$$

Ainsi, sur 100 calories confiées à une pareille machine, elle n'en rend, sous forme de travail, que $7\frac{1}{2}$; le reste, soit 92 calories $\frac{1}{2}$, sont perdues sous diverses formes.

Il ne sera pas sans intérêt d'examiner la façon dont s'opèrent ces énormes déperditions, d'établir le bilan de cette machine si perfectionnée, et cependant si prodigue.

Un moteur à vapeur se compose d'une chaudière, qui produit la vapeur, d'un récepteur, constitué lui-même par le cylindre et le piston, et d'une transmission allant du piston à la poulie ou à la roue de commande. Chacun de ces éléments intermédiaires est le siège d'une perte de travail à l'état calorifique ou à l'état dynamique; ce sont ces pertes que nous allons analyser :

1° Sur 100 calories, virtuellement contenues dans le combustible consommé, une partie seulement pénètre dans la chaudière pour y faire de la vapeur, le reste se disperse sous forme de fumées chaudes, de matières mal brûlées, par radiation, par conductibilité, etc.; le rendement industriel des bonnes chaudières ne dépasse guère 60 %; la quantité de chaleur parvenant à la machine sera donc au plus de $0,60 \times 100 = 60$ calories.

2° Le récepteur reçoit la vapeur de la chaudière à une certaine température; elle transforme en travail une partie de cette chaleur; le reste s'en va au condenseur. Supposons d'abord notre machine absolument parfaite; elle n'utilisera néanmoins qu'une fraction de la chaleur qui lui est communiquée, et la théorie démontre que cette fraction, appelée souvent le *coefficient économique*, dépend exclusivement des températures de la chaudière et du condenseur; plus l'écart entre ces températures est faible, plus le coefficient économique est petit.

Dans le cas pris comme exemple, on peut compter le coefficient économique pour 0,27 (¹).

Sur les 60 calories délivrées à la machine, la fraction qu'un récepteur parfait transformerait en travail serait de

$$0,27 \times 60 = \dots\dots\dots 16^{\text{cal}},2$$

3° Mais notre récepteur est loin d'être parfait : la détente et la compression sont incomplètes ; il y a des laminages de vapeur, des pertes de chaleur, des condensations, etc. ; de là, la nécessité d'introduire un nouveau coefficient, réduisant le travail du récepteur ; on peut évaluer ce coefficient à 0,60 ; le récepteur ne rendra que 0,60 du travail théorique, ce qui correspond à

$$0,60 \times 16,2 = \dots\dots\dots 9^{\text{cal}},72$$

4° Enfin, il y a les frottements et les résistances passives, nécessitant l'introduction d'un nouveau coefficient, que l'on appelle souvent *coefficient de rendement organique*, et qu'on peut porter à 0,77 ; il nous reste, en définitive :

$$9,72 \times 0,77 = \dots\dots\dots 7^{\text{cal}},50$$

que nous recueillerons sur l'arbre de couche sous forme de travail utilisable.

Pour ne constituer qu'une approximation évidemment grossière, les chiffres ci-dessus ont cependant une utilité, en ce qu'ils donnent une idée de l'ordre de grandeur des quantités qu'ils représentent. En les rapprochant les uns des autres, nous obtenons le tableau ci-après :

	Coefficients partiels	Calories restant	Calories perdues
Chaleur du combustible	1,00	100 cal.	0 cal.
1° Passage dans la chaudière . . .	0,60	60	40,00
2° Coefficient économique	0,27	16,2	43,80
3° Imperfection du cycle	0,60	9,72	6,48
4° Rendement organique	0,77	7,50	2,22
5° Rendement en travail	0,075	7,50	92,50

Ici, comme plus haut, le travail utilisé ne représente que $7\frac{1}{2}\%$ de la chaleur contenue dans le combustible.

La faible valeur de cette utilisation s'explique par deux raisons principales.

1. Le coefficient économique a pour valeur

$$\frac{t_1 - t_0}{273 + t_1}$$

t_1 température à la chaudière ; t_0 , température au condenseur.

Au cas actuel, on peut admettre :

Une chaudière timbrée à 5^{kg}, soit $t_1 = 158^\circ$,

Un condenseur à la température $t_0 = 40^\circ$,

Il vient ainsi, pour le coefficient économique

$$\frac{158 - 40}{273 + 158} = 0,27.$$

TRANSMISSION COMPLEXE

La première raison est le nombre de transformations que la chaleur doit subir avant de ressortir à l'état de travail : il faut qu'elle se dégage du combustible, qu'elle pénètre dans la chaudière pour former de la vapeur, que cette vapeur se rende au cylindre et agisse sur le piston ; le travail ainsi engendré est recueilli sur l'arbre de couche à l'aide d'une transmission compliquée. Chacune de ces transformations comporte son rendement particulier. Ces nombreux coefficients, malgré la perfection relative de chacun des organes, sont tous nécessairement plus petits que l'unité ; leur produit, qui est le rendement final, est donc forcément assez faible. L'énergie se disperse et s'épuise en passant de l'un à l'autre des anneaux de cette chaîne longue et compliquée.

DU COEFFICIENT ÉCONOMIQUE

En second lieu, on remarquera en particulier la faible valeur de l'un de ces facteurs du rendement final : il s'agit du *coefficient économique*, évalué ci-dessus à 0,27. Ce coefficient est petit parce que les températures entre lesquelles évolue la machine à vapeur sont peu écartées l'une de l'autre. Entre la température de la chaudière (158° dans l'exemple ci-dessus) et celle du condenseur (40°), l'écart n'est que de 118°.

Serait-il possible d'augmenter cet écart ?

Du côté du condenseur, il y a peu de chose à gagner.

Du côté de la chaudière, l'emploi des hautes pressions permet de gagner quelques degrés ; mais on est vite arrêté dans cette direction, à cause de la rapidité avec laquelle s'élèvent les tensions de la vapeur d'eau saturée, dès qu'on dépasse un peu les températures usuelles. Au point de vue de la thermodynamique, l'usage de la triple et de la quadruple expansion, permettent l'emploi de pressions initiales plus élevées, correspond à une amélioration importante du coefficient économique. Toutefois, l'amélioration ainsi obtenue ne saurait être indéfinie ; l'application de températures un peu fortes à la vapeur saturée se heurte contre la loi physique des tensions de ce fluide, et il n'est pas à prévoir que cet obstacle puisse être de sitôt surmonté.

En réalité, la principale chute de température se produit entre le foyer et la chaudière ; elle se mesure par 1000° ou 1200°, et, au point de vue du coefficient économique, elle reste complètement inutilisée. Telle est la cause capitale du faible rendement thermique de nos machines à vapeur modernes.

Le tableau ci-dessus pourrait encore donner matière à de nombreuses et intéressantes observations, mais il est temps de quitter la machine à vapeur et d'entrer dans l'étude des autres moteurs thermiques.

DÉCOMPTE DE LA CHALEUR DANS LES MOTEURS THERMIQUES EN GÉNÉRAL

L'emploi d'un fluide autre que la vapeur d'eau permet-il d'échapper aux deux inconvénients graves signalés ci-dessus ?

Est-il possible, en se servant d'un autre intermédiaire, d'obtenir une transformation plus simple, plus directe et, par suite, plus économique de la chaleur en travail ?

Est-il possible de faire agir le fluide à des températures élevées, donnant un meilleur coefficient économique ?

A ces deux questions la pratique a répondu d'une manière nette et affirmative : les deux problèmes sont résolus dans le fonctionnement des machines à gaz.

Ainsi, en premier lieu, dans ces machines, le fluide moteur reçoit directement l'action de la chaleur ; il agit directement sur le piston ; la chaleur n'a plus à passer du foyer au métal, du métal à l'eau ; plus de chaudière, plus de tuyauterie compliquée ; la chaîne des transformations se trouve singulièrement raccourcie et simplifiée.

En second lieu, le fluide agit à la température même de combustion ; l'énorme chute de température existant entre le foyer et la chaudière se trouve dès lors supprimée. De ce fait résulte une élévation considérable du coefficient économique ; de 0,25 ou 0,30, il passe à 0,70 ou 0,80. C'est là, et là seulement, sans nul doute, que se trouve le secret du rendement thermique élevé de ces sortes de moteurs, car, sur d'autres points, ils sont encore bien inférieurs aux machines à vapeur les plus médiocres.

Les considérations qui précèdent peuvent se résumer en un mot : la vapeur d'eau saturée possède des propriétés physiques qui ne permettent pas, dans les moteurs tels qu'ils sont construits de nos jours, d'obtenir des rendements thermiques élevés ; rien ne semble s'opposer à ce que d'autres fluides, doués de propriétés physiques différentes, permettent de réaliser ces rendements élevés.

DU RENDEMENT THERMIQUE COMME BASE DE COMPARAISON

Cette question du rendement thermique, de l'économie dans l'emploi de la chaleur, a, par elle-même, une importance tellement grande qu'elle a plus d'une fois fait oublier les autres conditions auxquelles un moteur industriel doit satisfaire, et qui n'est nullement permis de négliger. De là de nombreux mécomptes, de graves désaccords entre les indications d'une théorie incomplète et les résultats des applications pratiques.

Une première considération s'impose tout d'abord : quand on parle d'économie en matière industrielle, il ne s'agit pas d'économie de chaleur, mais d'économie d'argent. Or la dépense à faire pour dégager de la chaleur dépend, non seulement du nombre de calories obtenues, mais encore du prix de revient de chacune de ces calories. Ce prix de revient est lui-même la résultante d'un grand nombre d'éléments, parmi lesquels figure, en première ligne, le prix du combustible : une calorie de houille ne coûte pas le même prix qu'une calorie de gaz. Il faut aussi tenir compte des procédés mis en œuvre pour dégager la chaleur, des frais de main-d'œuvre, de l'entretien, des intérêts et de l'amortissement applicables aux appareils, aux bâtiments qui les abritent et au terrain qui les supporte, etc. Il est donc impossible d'affirmer *à priori* qu'un moteur à rendement thermique élevé soit nécessairement économique.

CONSIDÉRATIONS DIVERSES

L'économie pratique elle-même est loin d'être la seule question à considérer dans la production du travail ; il y en a d'autres, d'importance égale et souvent supérieure. Avant tout, un moteur thermique doit faire sa besogne, son *duty*, comme disent les Anglais. Si cette besogne est faite régulièrement, consciencieusement, pourrait-on dire, c'est le principal ; si par surcroît, elle est faite économiquement, c'est évidemment préférable ; mais, dans bien des cas, l'extrême économie dans la production du travail mécanique n'est qu'un avantage secondaire ; elle ne prend le premier rang que dans certaines applications tout à fait spéciales.

Les qualités que l'industrie exige d'un moteur dépendant, en premier lieu, de l'emploi auquel il est destiné ; tel moteur qui donnerait toute satisfaction dans une application déterminée serait, dans un autre cas, complètement inutilisable.

A ce point de vue, il convient, dans une étude d'ensemble, de s'en tenir à la discussion des propriétés d'un ordre assez général. C'est ce que nous allons essayer de faire.

La *régularité d'allure* est souvent une nécessité de premier ordre, particulièrement dans les applications à l'éclairage électrique ; comme régularité de marche, les bonnes machines à vapeur laissent peu à désirer ; on n'en saurait toujours dire autant des moteurs à gaz, qui ont, dans certains cas, donné lieu, de ce fait, à de sérieux mécomptes.

La question de l'*espace occupé* est souvent de grande importance ; la machine à vapeur, considérée en elle-même, est arrivée aujourd'hui à un degré de compacité qu'il semble difficile de surpasser ; mais la chaudière qui l'accompagne nécessairement est extrêmement encombrante ; de sorte qu'à ce point de vue les autres moteurs thermiques peuvent soutenir facilement la comparaison.

Des remarques analogues trouvent leur place en ce qui concerne la *légèreté*, qualité essentielle dans tous les cas où le moteur se déplace en même temps que

le point d'application de l'effort qu'il exerce ; il en est ainsi pour les machines de navigation, de chemins de fer, de tramways, et surtout pour l'aérostation ; la lourde chaudière devient alors un *impedimentum* fort gênant, qui s'aggrave encore lorsqu'il s'agit d'emporter un certain approvisionnement de charbon et d'eau. Néanmoins, jusqu'ici, surtout pour les grandes puissances, la machine à vapeur semble encore l'emporter, comme légèreté, sur les autres moteurs thermiques, grâce aux perfectionnements remarquables qui ont été apportés à ses divers organismes. Mais il est difficile d'affirmer que cette supériorité se maintiendra longtemps.

Certaines machines thermiques n'exigent pas d'eau pour leur fonctionnement ; c'est là une qualité qui peut être précieuse dans bien des circonstances, notamment en vue des usages agricoles.

La machine à vapeur ne peut fonctionner qu'une fois la chaudière en pression ; la montée en pression exige un temps plus ou moins long ; c'est, dans certaines applications, un inconvénient de premier ordre. La plupart des autres moteurs thermiques échappent à cette sujétion. Une machine à gaz, par exemple, se met en marche en un instant ; elle est toujours prête à fonctionner et ne consomme qu'autant qu'elle travaille.

Il est une question capitale, c'est celle de la *sécurité*. Une chaudière à vapeur est un réservoir de puissance dynamique, qui n'est pas sans offrir de sérieux dangers ; aussi les pouvoirs publics ont-ils dû intervenir et veiller à ce que l'établissement de ces magasins d'explosion compromît le moins possible la sécurité publique. De là des difficultés, même des impossibilités absolues pour beaucoup d'installations. Les autres moteurs thermiques ne présentent pas ces dangers, et leur emploi ne saurait, en aucune façon, inquiéter le voisinage. Des diverses causes qui, dans les dernières années, ont contribué à propager l'industrie des machines à gaz et à air chaud, la considération de la sécurité a peut-être été une des plus efficaces.

CLASSIFICATION DES MOTEURS THERMIQUES

Nous ne pousserons pas plus loin cette comparaison. Il est un fait certain, c'est que les moteurs thermiques prennent chaque jour une place plus importante dans l'industrie. Il convient d'examiner ces moteurs en eux-mêmes, au moins dans leurs lignes générales.

L'application de la chaleur à la production du travail ayant donné naissance à un grand nombre de systèmes variés, pour mettre un peu d'ordre dans notre étude, il est nécessaire de classer ces machines. Nous laisserons de côté, dans cette classification, les systèmes qui n'ont existé qu'à l'état de projets ou d'ébauches.

Les machines thermiques qui ont reçu de sérieuses applications peuvent se

diviser en deux grandes catégories, suivant que le fluide agissant est une vapeur ou un gaz permanent.

Sous la dénomination de *machines à vapeur*, on peut comprendre les machines dans lesquelles le fluide prend successivement l'état gazeux et l'état liquide.

Comme gaz permanents, on n'a guère utilisé jusqu'ici, dans les machines motrices, que l'air atmosphérique successivement réchauffé et refroidi. Nos machines à gaz permanent s'appelleront donc *machines à air chaud*.

Enfin, dans certains moteurs, on a essayé des combinaisons variées ; de là une troisième catégorie de machines, que nous désignerons sous le nom de *machines mixtes et diverses*.

En tenant compte des diverses variétés qui peuvent se présenter, on est conduit à établir comme il suit la classification des moteurs thermiques autres que les moteurs à vapeur d'eau saturée :

1° *Machines à vapeur.*

Vapeur d'eau surchauffée.

Vapeurs diverses.

2° *Machines à air chaud*, sans régénérateur de chaleur ou avec régénérateur de chaleur.

Chauffage par transmission.

Chauffage intérieur $\left\{ \begin{array}{l} \text{par combustion simple,} \\ \text{par explosion} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{sans compression,} \\ \text{sans compression.} \end{array} \right.$

3° *Machines mixtes et diverses.*

Nous allons passer en revue les moteurs appartenant à ces diverses classes ; nous rappellerons au fur et à mesure les connaissances acquises, les résultats constatés et les obscurités à éclaircir.

MACHINES A VAPEUR D'EAU SURCHAUFFÉE

Quoique la question de la surchauffe de la vapeur d'eau rentre, à certains points de vue, dans l'étude des machines à vapeur ordinaires, il ne paraîtra pas néanmoins hors de propos d'en dire ici quelques mots. La vapeur d'eau surchauffée est, en effet, un fluide dont les propriétés diffèrent notablement de celles de la vapeur d'eau ordinaire.

A côté des propriétés précieuses qui l'ont fait adopter d'une manière générale dans les machines thermiques, la vapeur d'eau saturée présente un inconvénient sérieux : sa pression s'élève très vite avec sa température. De là, comme on l'a

vu, une conséquence grave : le rendement thermique des machines à vapeur d'eau saturée est nécessairement faible.

On peut théoriquement, et on l'a bien souvent essayé pratiquement, tourner cet inconvénient : il suffit pour cela, une fois la vapeur produite, d'y ajouter de la chaleur sans augmenter sa pression ; à cet effet, on fait passer la vapeur saturée dans un tuyau ou serpentín plongé, soit dans les fumées, soit dans les flammes du foyer : c'est un chauffage par transmission ; le fluide ainsi fabriqué est envoyé dans un récepteur à piston.

On peut, dans l'emploi de la vapeur d'eau surchauffée, distinguer deux cas : ou bien la surchauffe est modérée, ou bien elle est très élevée.

La vapeur d'eau très surchauffée n'a pas jusqu'ici réussi dans les machines : elle brûle les lubrifiants et fait gripper les surfaces flottantes ; elle présente, dès lors, une partie des inconvénients qui ont retardé pendant si longtemps l'essor des machines à air chaud ; le succès de la vapeur surchauffée semble donc dépendre, avant tout, de la découverte d'un lubrifiant qui ne se laisse pas attaquer par ce fluide.

Lorsqu'il s'agit d'une surchauffe modérée, la question est tout autre ; ainsi qu'il résulte des études de M. G.-A. Hirn, il se produit une condensation partielle à l'entrée dans le cylindre, de sorte que, sauf certains avantages accessoires au point de vue du rendement, on rentre ici dans le cas de la vapeur saturée. L'obstacle qui a empêché jusqu'ici de se répandre ce mode d'emploi de la vapeur d'eau, c'est la difficulté de régler le degré de surchauffe eu égard aux variations de vitesse du courant de vapeur dans le surchauffeur et aux variations de vitesse et de température des flammes ou des fumées ; il en résulte que la surchauffe est tantôt excessive, et alors la machine grippe, tantôt insuffisante, c'est-à-dire sans effet.

Les moyens essayés jusqu'ici pour parer à cet inconvénient se sont montrés impuissants. L'un des plus ingénieux consiste à fabriquer le fluide par un mélange dosé de vapeur saturée et de vapeur très surchauffée ; la proportion de vapeur surchauffée se règle, à l'aide d'appareils automatiques, d'après la température du mélange obtenu.

VAPEURS DIVERSES

Depuis les tentatives si remarquables, si persévérantes de du Tremblay, l'emploi des vapeurs autres que la vapeur d'eau ne semble plus avoir été essayé avec quelque suite. En dehors des difficultés inhérentes au problème posé par l'éminent ingénieur, l'échec peut être attribué, pour une large part, à des circonstances étrangères au système en lui-même ; les progrès si rapidement réalisés dans la construction des machines marines, la commande directe de l'hélice, la

condensation par surface, l'usage de hautes pressions, la double et triple expansion, ont permis d'atteindre des résultats que du Tremblay n'avait jamais pu obtenir, et ont frappé ses recherches de stérilité industrielle.

Du Tremblay avait essayé les vapeurs de corps très volatils : l'éther, le chloroforme. D'autres, après lui, ont suivi la même voie, et ont proposé l'ammoniaque, l'acide sulfureux, le sulfate de carbone, même l'acide carbonique.

Ces recherches n'ont pas jusqu'ici amené des résultats pratiques. Toutefois, il semble que le dernier mot soit loin d'être dit.

Ce qui limite les services que peut rendre la vapeur d'eau saturée, ce sont les relations qui existent entre sa pression et sa température; aux températures élevées correspondent des pressions excessives; aux températures modérées des pressions insuffisantes. De là, un double inconvénient : le rendement thermique est faible, et les dimensions des appareils deviennent très considérables.

En disposant, à la suite de la machine à vapeur ordinaire, une machine actionnée par la vapeur d'un liquide très volatil, du Tremblay supprimait le second inconvénient; sa machine se rapprochait, par certains points, de la machine compound moderne; mais elle était, théoriquement parlant, bien plus satisfaisante en ce qui concerne les dimensions du cylindre de détente.

D'autre part, il paraît peu probable que l'on puisse trouver réunies, dans un fluide unique, les propriétés physiques nécessaires pour qu'il puisse travailler, sous des pressions modérées, successivement à haute et à basse température. La combinaison de deux vapeurs est donc une solution qui présente quelque chance de succès et qui mérite d'être étudiée.

Il va de soi qu'à côté de la question des tensions, d'autres questions d'ordre pratique doivent intervenir. La solution de ces problèmes pratiques n'a été donnée qu'imparfaitement par du Tremblay; c'est là une autre cause des échecs qu'il a éprouvés. Quoi qu'il en soit, il semble hors de doute qu'en vue de la production du travail, des études bien dirigées, relativement aux propriétés physiques des vapeurs, peuvent conduire à des résultats d'un véritable intérêt.

Tout récemment, on a proposé, pour de petites forces, de faire usage de vapeur de pétrole.

MACHINES A AIR CHAUD

Arrivons aux machines à air chaud.

Considéré au point de vue purement théorique du rendement thermique maximum, l'air ne diffère en rien de n'importe quel autre fluide. Entre deux mêmes températures, le cycle de rendement maximum, ou *cycle de Carnot*, conduit au même coefficient économique, quel que soit le fluide intermédiaire. Mais, lorsqu'on arrive à l'application, il en est tout autrement. La réalisation pratique

du cycle de Carnot, à l'aide d'un gaz permanent, exigerait des cylindres de dimensions absolument inadmissibles, ou bien des pressions exorbitantes, quand bien même on se contenterait d'une figuration grossière du cycle. A ce point de vue, l'air est absolument inférieur à la vapeur.

Les très fortes pressions n'ont pas été essayées dans les machines à air chaud à cause de la difficulté de tenir les joints. Quant aux grands cylindres, ils coûtent cher et entraînent des résistances passives énormes. En fait, les machines à air chaud en usage ont, toutes choses égales, des dimensions bien plus grandes que les machines à vapeur de même puissance, et cependant leur cycle s'éloigne beaucoup de celui de Carnot.

Nous venons de parler des joints : c'est là un des points qui dominant toute la question. S'il est déjà difficile de tenir un joint étanche contre de l'air froid à pression modérée, cette difficulté devient presque insurmontable lorsqu'il s'agit d'air chaud à haute pression ; on a essayé, jusqu'ici, de la tourner plutôt que de la résoudre, et les tentatives n'ont pas toujours été heureuses.

Réduire les dimensions et faire des joints étanches, voilà les deux problèmes qui se posent d'eux-mêmes, toutes les fois qu'on étudie un moteur thermique.

Que si, en outre, on cherche à obtenir un rendement élevé, c'est-à-dire à faire usage de hautes températures, alors la question des joints se complique d'une façon presque décourageante.

DES RÉGÉNÉRATEURS DE CHALEUR

Le cycle de Carnot procure le rendement thermique maximum ; on a cru pendant longtemps qu'il était le seul qui jouit de cette propriété ; de là cette idée qu'une machine à air chaud, donnant un rendement acceptable, devait nécessairement avoir des dimensions démesurées.

Une étude plus attentive a montré qu'à côté du cycle de Carnot, d'autres modes de fonctionnement permettent de réaliser le rendement maximum, grâce à l'emploi de ces appareils ingénieux, que l'on a appelés *récupérateurs*, *régénérateurs de chaleur*, *tamis respiratoires*, etc.

Sur une machine à air munie de ces appareils, les diagrammes d'indicateur peuvent se rapprocher de ceux fournis par une machine à vapeur. Comme conséquence, les régénérateurs permettent, tout en conservant un rendement élevé de diminuer dans une forte proportion les dimensions des cylindres.

Les régénérateurs, proposés par Stirling, au commencement de ce siècle, appliqués depuis lors par Ericsson, Franchot et d'autres encore, ont disparu à peu près complètement, malgré tous leurs avantages théoriques, et ne se retrouvent plus guère aujourd'hui que dans quelques machines de faible puissance. La raison de cet insuccès semble être d'ordre tout à fait pratique. On n'a pas su, jus-

qu'à présent, construire un régénérateur satisfaisant à toutes les conditions exigées : un appareil de cette nature devrait être fait d'une matière qui résistât, sans altération aux températures élevées et aux courants violents de gaz ; il devrait offrir au fluide qui le parcourt de très grandes surfaces de contact, en même temps que de larges sections de passage, et cependant n'occuper qu'un volume très restreint, de manière à ne pas augmenter démesurément les espaces nuisibles. La réussite d'une pareille construction ferait sans doute faire un grand pas à la question des machines à air chaud.

CHAUFFAGE EXTÉRIEUR

Dans un grand nombre de systèmes de machines à air, le fluide, enfermé dans un récipient métallique, est chauffé au moyen d'un foyer extérieur, par transmission à travers les parois du récipient.

Ce mode de chauffage est fort commode, la pureté du gaz n'est pas notablement altérée ; le chauffage se fait sans difficulté, et le combustible peut être de qualité ordinaire et à bas prix.

Mais, au point de vue de l'emploi de la chaleur, le système est moins satisfaisant ; la paroi métallique transmet assez mal la chaleur à l'air, beaucoup plus mal que dans les chaudières à vapeur, où la transmission se fait de la tôle au liquide, sans chute notable de température. De plus, la surface de chauffe est presque nécessairement insuffisante. Aussi l'utilisation de la chaleur du combustible est-elle fort médiocre.

D'autre part, le métal ne peut communiquer à l'air avec lequel il est en contact des quantités un peu importantes de chaleur qu'à la condition d'être beaucoup plus chaud que lui ; mais, aux températures élevées, il perd sa résistance et s'altère rapidement. Pour ménager les enveloppes, il faut donc modérer le chauffage, et, par suite, renoncer à donner à l'air les hautes températures qui seules permettraient d'obtenir un rendement thermique satisfaisant.

Ces sortes de machines ne semblent donc convenir que pour le cas de petites forces, lorsque la question d'économie n'est qu'accessoire et que la question de commodité est prédominante.

CHAUFFAGE INTÉRIEUR

Pour obtenir des rendements élevés, il convient que la combustion se fasse directement à l'intérieur de la machine ; dans ce cas, l'air devient à la fois moteur et comburant ; la température maximum qu'il atteint n'est autre que la température de combustion.

Cette combinaison offre en théorie des avantages importants; mais elle présente, à l'application, des difficultés sérieuses.

COMBUSTIBLES SOLIDES

S'il s'agit de combustibles solides, ces difficultés sont extrêmement graves et nombreuses. En premier lieu, l'allumage et la mise en train sont loin d'être commodes; le feu une fois allumé, il faut l'entretenir par l'introduction méthodique de fragments de combustible dans une capacité close; la machine doit marcher d'une manière continue, sans quoi, après chaque arrêt un peu prolongé, le feu s'est éteint, et l'on doit recommencer les opérations longues et pénibles de la mise en train; les fumées chaudes et chargées de suie attaquent et empâtent les organes; l'élimination des cendres et scories n'est pas facile à obtenir. Enfin, dans certains systèmes de machines à air chaud, les espaces nuisibles jouent un rôle capital; or, les enveloppes réfractaires dont on entoure le foyer sont poreuses et volumineuses; elles offrent donc des vides considérables, qui peuvent troubler le fonctionnement de la manière la plus grave.

Belou avait imaginé une machine à air chaud avec combustion intérieure entretenue par un combustible solide. Malgré son ingéniosité et celle de ses collaborateurs, ses recherches, longues, coûteuses, persévérantes, ont échoué devant ces obstacles.

Le problème a été repris récemment, et, grâce à des combinaisons habiles, on a pu tourner en partie ces difficultés, et faire fonctionner pratiquement des moteurs de ce genre. Le combustible est du coke, et les frottements intérieurs sont constamment nettoyés et rafraîchis par un courant d'air froid.

COMBUSTIBLES GAZEUX

Lorsque l'on fait usage de combustibles gazeux, une partie de ces difficultés disparaissent. Ainsi l'admission du combustible est facile à régler; la production de fumée peut être fort atténuée et même disparaître; il n'y a pas à s'occuper des cendres ni des scories.

Mais les combustibles gazeux sont très peu répandus à l'état naturel. Pour faire usage d'un pareil combustible, on en est réduit à le préparer de toutes pièces, et par suite il coûte cher.

Le combustible gazeux le plus usité pour la production de la force motrice est le gaz de l'éclairage. Mais, en général, le prix en est fort élevé, incomparablement plus élevé, pour un même pouvoir calorique, que celui de la houille; il devient donc indispensable d'en économiser la consommation. C'est ce qui fait que, jusqu'ici, les machines, empruntant leur action au gaz de l'éclairage

ne s'emploient guère que pour les petites forces et dans le cas d'un travail intermittent et de peu de durée. La même nécessité a amené, dans les machines à gaz, des perfectionnements considérables ayant pour résultat de diminuer leur consommation ; c'est ainsi, comme on l'a vu, qu'au point de vue de l'utilisation mécanique de la chaleur du combustible, les machines à gaz soutiennent victorieusement la comparaison avec les machines à vapeur les plus perfectionnées.

Le prix du gaz de l'éclairage ordinaire, dans les grandes villes, comporte, comme éléments principaux, les frais d'amortissement et d'entretien d'une immense canalisation, les dépenses correspondant aux fuites qu'elle occasionne, des frais généraux énormes, etc. Toutes ces dépenses accessoires l'emportent de beaucoup sur les frais de fabrication proprement dits. On a cherché, dans certains cas, à s'en affranchir, en fabriquant directement le gaz dans une petite usine spécialement consacrée à l'alimentation du moteur thermique et qui joue, à l'égard de ce moteur, le même rôle que la chaudière vis-à-vis de la machine à vapeur. La fabrication peut avoir lieu soit par distillation simple, soit par combustion incomplète.

Distiller de la houille pour en tirer du gaz, est une opération qui, économiquement parlant, est à peu près impraticable sur une petite échelle, à cause de la difficulté de vendre le coke et les sous-produits.

La combustion partielle se pratique dans des *gazogènes* ; elle fournit un mélange, à proportions variables, de gaz inertes, d'oxyde de carbone et d'autres gaz combustibles ; cette transformation du combustible solide est assez simple et peu coûteuse. Malheureusement les gazogènes actuels présentent des inconvénients qui ont singulièrement limité leur application à la production de la puissance motrice. Un gazogène demande une mise en train assez longue ; son allure doit être régulière, et sa production s'accommode mal d'écarts un peu prononcés, qui amèneraient infailliblement des variations considérables dans la composition du gaz fabriqué. Une machine à gaz, accolée à un gazogène, perd ainsi une partie de ses avantages les plus précieux : on ne peut plus la mettre en marche instantanément et à volonté ; de plus, les variations dans la composition du gaz réagissent de la manière la plus fâcheuse sur l'allumage. Ces inconvénients sont à peine atténués par l'interposition de gazomètres, dont l'installation est d'ailleurs toujours coûteuse.

COMBUSTIBLES LIQUIDES

Dans un grand nombre d'applications, il y aurait un intérêt de premier ordre à pouvoir se servir des combustibles liquides pour la production de la force motrice ; comme encombrement, comme poids, comme facilités d'emmagasinement, ils

offrent des avantages considérables. Comme commodité d'emploi, ils semblent comparables au gaz de l'éclairage sauf sur un point : l'allumage et la tenue de la flamme ; mais ce point est d'une importance capitale.

Pour arriver à produire ou à entretenir la combustion des liquides à l'intérieur de récipients sous pression, divers procédés ont été proposés ; ceux qui semblent avoir donné les meilleurs résultats pratiques sont les suivants :

On chauffe le liquide pour le vaporiser, et cette vapeur est injectée dans le récipient où elle doit brûler. L'allumage ainsi obtenu est facile et régulier ; mais la petite chaudière qui produit sous pression la vapeur inflammable n'est pas sans présenter de sérieux dangers.

Un second procédé, emprunté à d'autres industries, consiste à faire passer sur un liquide combustible et volatil un courant d'air suffisamment lent ; cet air se charge de vapeurs combustibles, et fonctionne dans un moteur analogue aux machines à gaz. Ce moyen est beaucoup moins dangereux que le précédent, mais la composition du gaz combustible ainsi fabriqué est influencée par diverses circonstances dont on n'est pas maître : constitution du liquide, température, vitesse du courant d'air, etc., de sorte que l'allumage ne se fait pas toujours bien régulièrement.

Enfin un troisième procédé consiste à injecter le liquide sous forme de poussière, en le pulvérisant par un jet d'air ; ce procédé n'exige pas, comme les précédents, l'emploi de liquides volatils et par conséquent fort dangereux à manier ; mais l'allumage du jet pulvérulent est irrégulier et capricieux ; de plus, il est difficile d'éviter l'encrassement des organes.

Les machines à liquides combustibles ont tenté bien des inventeurs et suscité bien des recherches ; malgré tout l'intérêt qui s'attache à la question, malgré les efforts qui ont été faits pour la résoudre, ces machines ne se répandent que très lentement dans l'industrie. Espérons que les difficultés que présente leur établissement, notamment la difficulté de l'allumage, finiront par être surmontées.

COMBUSTION OU EXPLOSION

Les machines à combustion intérieure se divisent en deux grandes classes, suivant que la combustion se fait d'une manière régulière et continue ou qu'elle est explosive et intermittente.

Nous entendons ici par *combustion régulière* celle qui se produit lorsque le fluide combustible se consume progressivement et est fourni par débit régulier au fur et à mesure qu'il est brûlé.

Dans l'*explosion* au contraire, le fluide combustible est préalablement mélangé d'une manière intime avec l'air ; ce mélange, étant mis en présence d'un corps en ignition, s'enflamme brusquement, et l'inflammation se propage, en un temps très court, dans toute la masse du mélange

Ces définitions sont loin d'être scientifiques : malgré des travaux considérables et justement estimés, les phénomènes relatifs à la propagation de la flamme et de l'explosion sont encore mal connus. Il paraît probable que, dans les cylindres des machines à gaz, l'explosion affecte une allure tout autre que dans l'eudiomètre ou les récipients des chimistes ; les diagrammes d'indicateur semblent le prouver, quoique, peut-être, il puisse subsister quelque doute sur l'exactitude des diagrammes obtenus, lorsque les variations de pression sont très rapides. Des recherches nouvelles et précises donnant l'analyse de ces phénomènes obscurs seraient fort à désirer.

Les machines à combustible solide ne comportent que la combustion continue ; les machines à combustible gazeux ou liquide comportent les deux modes de combustion.

COMBUSTION CONTINUE

Dans les machines à combustion continue, les pressions n'éprouvent que des variations progressives et régulières ; ces machines ont la même douceur de marche que les machines à vapeur. L'air, avant d'être introduit sur le foyer, doit subir une compression préalable.

On peut diviser ces machines en deux classes, suivant que la combustion se fait dans le cylindre ou dans un récipient spécial.

Dans le cas où la combustion a lieu dans un récipient spécial, les gaz de la combustion sont introduits dans le cylindre moteur à l'aide d'une distribution ; les organes de distribution, traversés par un courant de gaz à haute température, plus ou moins chargé de cendres, de suie et d'escarbilles, sont exposés à gripper et à se détériorer ; c'est là un des inconvénients graves qui ont fait échouer les tentatives faites pour appliquer ce système, notamment les essais si méritoires de Belou.

Dans les machines où la combustion se produit à l'intérieur du cylindre, cet inconvénient peut être évité ; on peut également par certains artifices, échapper à la difficulté de tenir contre l'air chaud le joint entre piston et cylindre, à la condition toutefois, de n'opérer qu'à température modérée, c'est-à-dire de sacrifier les rendements élevés. D'autre part, le foyer intérieur devant être entouré de matériaux réfractaires, les espaces nuisibles prennent beaucoup de volume ; il en résulte la nécessité de donner au cylindre une capacité considérable, et la machine devient fort encombrante.

EXPLOSION

En l'état actuel, les machines à explosion alimentées par un combustible liquide ou par du gaz de générateur ne diffèrent pas, en tant que mode de fonc-

tionnement, des machines à gaz d'éclairage. Ce sont ces dernières que nous aurons principalement en vue dans la suite de cet exposé.

Au moment de l'explosion, la pression des gaz augmente brusquement ; il y a un véritable choc, qui n'est pas sans être préjudiciable aux organes mécaniques.

C'est là un des inconvénients des machines à explosion ; c'est une des raisons qui font que jusqu'ici, on a hésité à aborder les grandes puissances à l'aide de ces machines.

Comme prix de revient de la force motrice, les machines à gaz ne peuvent soutenir la comparaison avec les machines à vapeur, à cause de la valeur très élevée du combustible consommé. L'usage de ces machines est donc aujourd'hui restreint aux cas où l'économie dans la production du travail peut être sacrifiée à d'autres considérations, considérations de sécurité, de faible encombrement, de prompt mise en marche, etc. Elles s'adaptent bien aux cas où le travail à produire est intermittent et de peu de durée.

Dans la plupart des applications néanmoins, le prix de revient de la force motrice a une importance qui ne peut pas être négligée, et c'est avec raison qu'on s'est attaché à augmenter l'effet utile du combustible coûteux brûlé dans les machines à gaz. Cette question mérite d'être examinée de plus près.

Nous n'essaierons pas d'établir, pour les moteurs dont il s'agit, un décompte numérique de l'emploi de la chaleur ; nous nous contenterons d'analyser les dépenses d'une manière sommaire et générale.

Dans une machine à gaz, le coefficient économique, tel que nous l'avons défini plus haut, est fort élevé ; si la machine était théoriquement parfaite, elle rendrait, par mètre cube consommé, quelque chose comme 6 à 7 chevaux-heures. En pratique, on est loin de ce compte, puisque chaque cheval-heure prend environ un mètre cube dans les bonnes machines.

Pour se rendre un compte au moins approximatif des dépenses, on peut les ranger sous les rubriques ci-après :

- Pertes par les parois ;
- Imperfection du cycle ;
- Résistances passives ;
- Combustion incomplète et allumage.

PERTES PAR LES PAROIS

Dans les moteurs en usage, le cylindre est en métal ; la combustion intérieure l'échauffe très vite.

Il est indispensable de refroidir le cylindre pour éviter le grippement, qui se produirait inévitablement au contact des garnitures du piston. Ici nous voyons apparaître de nouveau cette question des joints, cet obstacle pratique, qui se

dresse à chaque tentative que l'on fait pour améliorer le rendement. La suppression de cet obstacle semble dépendre de la solution de deux problèmes :

1° Découverte d'une matière qui puisse être polie comme le métal, qui en ait l'élasticité et la dureté et qui supporte mieux que lui les températures élevées ;

2° Découverte d'un joint étanche et lubrifiable aux températures élevées.

La perte de chaleur due au refroidissement de la paroi est considérable ; dans les meilleures machines existantes, elle s'élève souvent à la moitié de la puissance calorifique du combustible consommé.

On a cherché à l'atténuer par divers procédés. Par exemple, on produit l'explosion dans un récipient spécial, distinct du cylindre et à parois isolantes, et l'on interpose entre ce récipient et le cylindre un matelas de gaz inertes et froids. Il est facile de voir qu'avec une pareille combinaison, les gaz dilatés ne peuvent rendre en travail qu'une faible partie de la puissance élastique qu'ils renferment sous forme de chaleur : on gagne quelque chose sur les déperditions, on perd beaucoup sur l'effet dynamique.

Un autre moyen consiste à réserver pour l'allumage une portion de l'enceinte close du cylindre, en dehors de la partie qui reçoit le frottement du piston ; le volume ainsi réservé n'est pas ou est peu refroidi ; le refroidissement n'agit que sur la paroi frottante.

Le procédé qui jusqu'ici a donné les meilleurs effets consiste à imprimer une grande vitesse au piston, de telle sorte que, pendant la détente des gaz chauds, la durée de leur contact avec les parois refroidissantes soit aussi courte que possible. C'est par les grandes vitesses que l'on peut espérer se rapprocher de l'adiabatisation ; ce principe, inauguré il y a près d'un quart de siècle, a été pratiqué avec succès et a conduit aux plus brillants résultats ; il semble fort probable qu'avec les méthodes actuelles de construction, l'avenir des machines à explosion soit tout entier dans les allures rapides, une fois que l'on aura surmonté certaines difficultés pratiques, notamment celle de l'allumage.

IMPERFECTION DU CYCLE

Dans l'analyse que nous avons faite de l'emploi de la chaleur dans les machines à vapeur, nous avons évalué à 0,60 le coefficient de rendement du cycle, c'est-à-dire le rapport entre le travail indiqué et le travail théorique maximum.

Dans les machines à gaz, ce coefficient de 0,60 est bien loin d'être atteint. Les meilleures de ces machines donnent, à l'indicateur, des diagrammes qui n'ont aucun rapport avec le cycle de Carnot ; la détente devrait théoriquement refroidir les gaz jusqu'à la température ambiante ; or les gaz sortent extrêmement

chauds ; cette chaleur qu'emportent les gaz à l'échappement est la traduction physique de l'imperfection du cycle.

Il y a de grands progrès à réaliser dans cette direction. Peut-être l'usage de régénérateurs, si l'on arrive à les construire dans de bonnes conditions, pourra-t-il procurer des améliorations importantes.

RÉSISTANCES PASSIVES

A conditions égales, le cylindre d'une machine à gaz est beaucoup plus volumineux que celui d'une machine à vapeur ; souvent aussi, la machine est à simple effet, en vue d'un refroidissement plus efficace, et elle comporte une compression préalable de l'air. Il ne faut donc pas s'étonner si les frottements et résistances accessoires prennent une importance considérable. Si l'on compare le travail indiqué au travail recueilli sur l'arbre de couche, on arrive à un rendement organique assez faible.

Les machines à gaz exigent un graissage très abondant et très soigné, sinon les frottements absorbent la majeure partie du travail des pressions.

ALLUMAGE ET COMBUSTION IMPARFAITE

La combustion, dans les bonnes machines à gaz, semble en général assez complète ; le mélange préalable des éléments gazeux favorise l'accomplissement des réactions. Les gaz de l'échappement exhalent souvent une odeur très forte, mais cela ne prouve pas que les parties combustibles soient en grande abondance, eu égard à la grande puissance odoriférante de quantités même minimales d'acroléine, d'acétylène ou autres produits analogues. Il serait cependant à désirer que l'on fût mieux fixé sur ce point, qui n'a pas encore fait l'objet d'expériences nombreuses et précises.

Dans beaucoup de cas, notamment lorsqu'il s'agit de petites forces, la quantité de combustible dépensée pour assurer l'allumage, soit directement, sous forme d'une flamme, soit indirectement, sous forme d'une étincelle électrique, est loin d'être négligeable.

EFFET UTILE DES MOTEURS A EXPLOSION

Les quatre causes principales de perte que nous venons d'analyser expliquent suffisamment les résultats pratiques auxquels on arrive ; le rendement thermique des moteurs à explosion tombe presque au niveau de celui des bonnes machines à vapeur, quoique le coefficient économique soit environ trois fois plus grand.

D'un système de moteur à un autre, le résultat final est assez variable ; mais les coefficients individuels qui caractérisent les différentes déperditions varient dans les limites encore plus étendues. Il serait donc hors de propos de chercher à les évaluer en chiffres, même d'une manière approximative.

Toutefois on peut dire que, dans la plupart des cas, les deux déperditions prépondérantes sont dues à l'influence des parois et à l'imperfection du cycle.

PROCÉDÉS D'ALLUMAGE

Nous arrivons à l'examen rapide de quelques-uns des détails les plus importants nécessaires au fonctionnement des moteurs à explosion. Commençons par l'allumage.

La combustion étant très rapide, la flamme s'éteint après l'explosion ; il faut donc opérer un nouvel allumage à chacun des cycles d'opérations. Dans les moteurs en usage, le rallumage s'obtient par des procédés fort divers, et qui donnent presque tous des effets réguliers. Voici quelques-uns des plus répandus :

Par un jet de flamme : dans les moteurs sans compression préalable, le jet de flamme pénètre directement dans le mélange détonant par l'ouverture d'une petite soupape, qui se referme d'elle-même, dès que la pression intérieure devient prépondérante, par le fait même de l'explosion ; dans les moteurs à compression préalable, l'application de ce procédé d'allumage exige quelques dispositifs assez compliqués.

Par déplacement d'une flamme : un jet de gaz, allumé par une flamme fixe, est renfermé dans une cavité mobile, qui, par un léger et rapide déplacement, est mise en communication avec le mélange explosif ; l'allumage ainsi obtenu est fort régulier lorsque la machine est bien établie et convenablement réglée.

Par l'étincelle électrique : l'étincelle jaillit entre deux pointes métalliques isolées ; le courant à haute tension est fourni, soit par une bobine d'induction, soit par une petite dynamo actionnée par le moteur, soit enfin par un appareil assez analogue comme principe au *coup de poing* de Breguet, et dans lequel une bobine induite passe rapidement entre les pôles d'un aimant, sous l'action d'un fort ressort déclenché au moment voulu par le mouvement du moteur ; avec ce dernier dispositif, l'intensité de l'étincelle est indépendante de l'allure de la machine et la force absorbée par l'allumage est très petite.

L'allumage électrique nécessite quelques précautions d'installation et d'entretien, en vue d'éviter les dérivations du courant.

Par incandescence : un corps rendu incandescent, soit par le passage d'un courant électrique, soit par une flamme, est mis, au moment voulu, en contact avec le mélange explosif.

Dans tous ces procédés, l'allumage, provoqué en un point, s'étend, par propagation, à tout le mélange. On semble avoir trouvé avantage à faire varier le dosage, de telle sorte que la partie du mélange qui avoisine le point d'allumage soit plus riche que le reste en éléments combustibles.

Il est un procédé d'allumage qui, pour n'avoir pas été appliqué d'une manière tout à fait pratique, ne semble pas absolument inapplicable : il consiste à exercer sur le mélange explosif une *compression* qui l'échauffe et détermine la réaction ; si le mélange est déjà chaud et contenu dans une capacité chaude, il suffit d'une compression assez modérée pour le porter à la température d'inflammation ; avec ce procédé, la combustion se produirait presque instantanément dans toute la masse comprimée.

EAU CONSOMMÉE

Il faut, pour refroidir les parois, une assez grande quantité d'eau, qui souvent coûte cher ou est difficile à se procurer ; il serait fort avantageux, dans beaucoup de cas, de pouvoir échapper à cette sujétion. On y est parvenu, dans les petits moteurs, en augmentant l'action du rayonnement et de l'air extérieur au moyen de nervures à grande surface. Pour les moteurs un peu puissants, le résultat ainsi obtenu serait insuffisant. On a essayé aussi d'immerger le cylindre dans une bûche ouverte et pleine d'eau ; cette eau se vaporise à 100° au fur et à mesure que la chaleur lui est transmise ; la consommation d'eau se trouve ainsi fortement réduite.

ORGANES RÉGULATEURS DE LA VITESSE

Sur l'arbre de couche est monté un volant, destiné à amortir les variations périodiques du travail moteur. Ces variations, dans la plupart des moteurs à explosion, sont beaucoup plus étendues que dans les machines à vapeur, ce qui entraîne à donner au volant une grande puissance.

Pour réprimer les écarts permanents de régime, résultant d'inégalités durables entre le travail moteur et le travail résistant, on a généralement recours au régulateur à force centrifuge. Le régulateur agit de diverses manières.

Parfois, il agit par étranglement, en créant, sur le passage des courants gazeux, des pertes de charge variables. Ce mode d'action, très usité dans les machines à vapeur, est beaucoup plus limité dans ses résultats lorsqu'il s'applique à des machines à explosion.

Dans un grand nombre de machines à gaz, le régulateur agit sur l'admission du gaz combustible ; il est délicat de modifier la teneur du mélange explosif, dont la composition doit être maintenue entre des limites assez resserrées, au-

delà desquelles l'allumage ne se ferait plus ; ce moyen a cependant été appliqué dans certaines machines, et a pu réussir, grâce à des artifices ingénieux. Le plus souvent on procède autrement. La puissance de la machine est réglée de manière à l'emporter, en marche normale, sur le travail résistant ; la vitesse tend donc constamment à s'accroître ; dès qu'elle dépasse la limite fixée, le régulateur déplace une came, et l'admission se trouve supprimée pendant un ou plusieurs cycles ; la machine continue son mouvement en vertu de la force vive accumulée dans le volant ; quand la vitesse a suffisamment diminué, le régulateur reprend sa position ordinaire, et l'admission du gaz se rétablit.

Quelquefois aussi le régulateur agit, non sur l'admission, mais sur l'échappement.

L'action du régulateur à force centrifuge résulte de la force d'inertie des boules, force variable avec la vitesse. Dans quelques machines récentes, on a eu l'idée ingénieuse d'utiliser sous une autre forme la variation de la force d'inertie : la pièce mobile est oscillante et non pas tournante ; les régulateurs ainsi agencés sont parfois d'une grande simplicité.

Grâce à ces procédés et à l'aide d'un volant puissant, on peut maintenir une allure à peu près régulière. Les organes d'admission du gaz étant petits, tout le système régulateur peut être établi légèrement et tient peu de place. La dépense de gaz augmente et diminue en même temps que le travail à fournir.

Dans quelques machines de faible puissance et qui n'ont pas besoin d'une grande régularité de vitesse, le régulateur est supprimé ; pour empêcher la machine de s'emporter, il suffit d'étrangler l'arrivée du gaz ; quand la vitesse dépasse sa valeur normale, le mélange explosif devient trop pauvre et ne s'enflamme plus.

COMPRESSION PRÉALABLE

Dans certaines machines, les gaz, avant l'explosion, sont à la pression ambiante, et la pression motrice est due à l'élévation de température produite par l'explosion. D'autres machines procèdent d'un fonctionnement différent : le mélange explosif est comprimé avant d'être allumé.

Les machines sans compression préalable sont plus simples d'organes ; l'allumage se fait sans difficulté.

La compression préalable présente des avantages nombreux : la puissance est plus grande à égalité de volume et la chaleur en général mieux utilisée. De plus, au moment de l'explosion, les organes de transmission sont déjà comprimés, ce qui atténue les temps perdus et l'effet des chocs.

La compression est effectuée, tantôt par un piston spécial, tantôt dans le cylindre moteur lui-même. Ce dernier procédé est le plus en usage ; il est carac-

térisé sous le nom de *cycle à quatre temps*, ce cycle se composant de quatre opérations successives, exécutées dans le même cylindre, à savoir :

- Aspiration du mélange explosif ;
- Compression du mélange explosif ;
- Explosion et détente ;
- Expulsion des produits brûlés.

Le cycle à quatre temps présente cet avantage important, que le mélange se trouve réchauffé, d'un côté, par son contact avec les parois du cylindre, contact prolongé pendant deux courses du piston, d'un autre côté par le fait même de la compression ; il est donc dans de bonnes conditions pour s'enflammer, et, de fait, le cycle à quatre temps permet des dosages relativement faibles en gaz combustible.

Sur les quatre opérations, une seule, l'explosion et la détente, donne lieu à un travail moteur ; deux opérations, l'aspiration et l'expulsion, n'occasionnent qu'une faible dépense de travail ; la compression absorbe du travail. De plus, dans la plupart de ces machines, les pressions ne s'exercent que sur l'une des faces du piston ; l'autre face reste en contact avec l'air extérieur, qui concourt efficacement au refroidissement. En définitive, le mécanisme est assez mal utilisé ; là où une machine à vapeur donnerait quatre coups de piston utiles, la machine en question n'en donne qu'un, dont le travail est en partie absorbé par la période de compression.

Au point de vue de la régularité d'allure, ce système laisse aussi fort à désirer, le volant devant dépenser en deux tours le travail emmagasiné pendant une demi-révolution.

On pallie ces deux inconvénients en imprimant à la machine une grande vitesse de marche, vitesse qui cadre très bien, d'ailleurs, avec la réalisation de rendements élevés.

Lorsque, en outre, on cherche à obtenir une vitesse de rotation bien régulière, on attelle deux pistons sur un même arbre de couche, en croisant les périodes, de manière à avoir une impulsion à chaque révolution ; au besoin, quatre pistons attelés sur le même arbre donnent une régularité analogue à celle des machines à vapeur à double effet.

Le cycle à quatre temps a permis d'établir des machines à gaz solides et durables, d'un fonctionnement régulier, faciles à conduire et à entretenir, ayant un rendement thermique relativement élevé. Malgré le haut prix du combustible qu'elles consomment, elles ont été appliquées à de nombreuses industries et ont pris une extension rapide.

MACHINES MIXTES ET DIVERSES

Pour augmenter l'effet utile de la chaleur, on a cherché à adapter divers perfectionnements aux machines à air chaud. La plupart ont pour objet l'amélioration du cycle des machines à explosion, et surtout l'utilisation de la chaleur emportée par les gaz de l'échappement.

Dans certaines de ces machines, ces gaz, encore chauds et sous pression, sont envoyés dans un cylindre spécial où ils agissent sur un piston ; d'autres fois, ces gaz servent à chauffer une petite chaudière, alimentant un piston de machine à vapeur. Les résultats ainsi obtenus ne sont pas encore bien nets ; la question a besoin d'être étudiée.

D'autres inventeurs, en poursuivant les applications de la puissance de la chaleur à la navigation, ont poussé leurs recherches dans une voie toute différente : ils suppriment piston, machine et propulseur, et font agir directement la pression des gaz à l'arrière du bateau, sur l'eau dans laquelle il flotte. Quand aux substances employées pour développer la pression, elles sont très diverses ; tantôt la combustion est continue et ce sont les gaz provenant de cette combustion qui servent d'agents propulseurs ; d'autres fois on a recours à des mélanges gazeux explosifs ; dans certains cas, on a même cherché à faire usage d'explosifs solides, tels que les poudres lentes ou le pyroxylye. Ces expériences n'ont fourni, jusqu'ici, rien de pratique ; mais elles ont donné lieu à de regrettables accidents. L'idée paraît assez séduisante et ne semble se heurter contre aucune impossibilité théorique ; il est possible que cette voie conduise, un jour ou l'autre, à des résultats utiles, surtout en vue de certaines applications spéciales, telles que les torpilles auto mobiles, etc.

QUESTIONS DIVERSES

Nous mentionnerons encore quelques problèmes qui se sont posés dans la pratique de ces moteurs.

En premier lieu, vient la question du graissage ; elle est ici particulièrement importante et délicate, à cause de la valeur élevée des résistances dues aux frottements, et des difficultés qu'occasionnent les fluides à température élevée, et surtout l'air chaud.

La mise en train, qui, abstraction faite de la montée en pression de la chaudière, est si facile dans les machines à vapeur, ne laisse pas ici que de donner lieu à des embarras, surtout pour les moteurs à compression préalable. Il en est de même du changement de marche. Ces problèmes ont été plus ou moins résolus par divers procédés, sur lesquels il est inutile d'insister.

Bien d'autres questions se présentent encore, telles que celle des mélangeurs

de gaz, celle de l'expulsion totale ou partielle des produits de la combustion celle des agencements mécaniques des moteurs, etc. Mais, si grand que puisse être l'intérêt qu'elles présentent, cet intérêt ne semble par d'ordre assez général pour mériter ici autre chose qu'un rappel.

Pour terminer, disons un mot des applications les plus habituelles qu'ont reçues les moteurs thermiques.

DE L'EMPLOI DES DIVERS MOTEURS THERMIQUES. INSTALLATIONS FIXES

Parlons d'abord des installations fixes.

Lorsqu'il s'agit de produire à bon marché une force motrice puissante et continue, la machine à vapeur ordinaire reste encore le moteur industriel par excellence. Les autres machines thermiques n'ont reçu, dans de pareilles conditions, que des applications isolées et justifiées par des conditions économiques spéciales; pour que la situation fût modifiée, il faudrait sans doute que de grandes améliorations fussent apportées dans la construction de ces moteurs; ceux qui consomment des combustibles solides, soit directement, soit après transformation par gazogène, se prêtent peut-être mieux que d'autres à une pareille transformation.

Pour les puissances de quelques chevaux, les machines thermiques, et surtout les machines à explosion, ont pris une large place dans l'industrie; leurs avantages sont surtout manifestes lorsque le service à faire est intermittent. C'est principalement la machine à gaz avec cycle à quatre temps qui a donné lieu à de nombreuses applications.

Pour les petites forces, lorsque la question de commodité d'emploi est prédominante, la machine à vapeur cesse d'être à sa place, et les divers moteurs thermiques rendent des services chaque jour plus appréciés.

INSTALLATIONS MOBILES

Les machines thermiques, telles qu'on les construit aujourd'hui, sont encore trop lourdes, trop encombrantes et trop délicates pour avoir donné lieu à des applications importantes dans le cas d'installations mobiles.

Quelques essais de ces machines ont été tentés pour la traction des tramways.

En matière de navigation, les machines à vapeurs combinées ne semblent pas avoir dit leur dernier mot.

Quant aux machines à air chaud, pour qu'elles puissent être appliquées d'une façon courante aux transports, elles auraient besoin, avant tout, d'être rendues plus légères; pour réaliser cette amélioration, certains perfectionnements s'indi-

quent d'eux-mêmes, et mériteraient d'être étudiés, tels que l'emploi de hautes pressions et de grandes vitesses, la simplification des cycles, l'usage des combustibles liquides, etc.

Peut-être un avenir prochain nous réserve-t-il à cet égard des surprises.

QUESTIONS A EXAMINER PAR LE CONGRÈS

Nous avons essayé, dans ce qui précède, d'énumérer quelques-uns des sujets d'étude qui se présentent à propos des moteurs thermiques. Si imparfaite que soit cette esquisse, il faut espérer qu'elle ne sera pas sans quelque utilité, qu'elle pourra provoquer les communications des savants ingénieurs qui ont étudié la matière, qu'elle soulèvera des discussions instructives.

On trouvera ci-après une liste des principales questions qu'il pourrait être intéressant d'examiner dans les séances du Congrès. Nous prenons la liberté de les soumettre aux réflexions de nos collègues. L'ordre observé dans cette liste est, à peu de chose près, le même que celui qui a été suivi dans le cours du présent rapport, ce qui facilitera les rapprochements.

Machines à vapeur d'eau surchauffée. — Descriptions et résultats.

Machines à vapeur diverses. — Descriptions et résultats. — Propriétés physiques de diverses vapeurs. — Propriétés au point de vue de l'innocuité, du graissage, de l'étanchéité des joints, etc.

Machines à air chaud. — Descriptions et résultats. — Joints et graissage. — Construction des régénérateurs de chaleur.

Machines à air chaud à combustible solide. — Descriptions et résultats.

Combustibles gazeux et liquides. — Gazogènes. — Allumage des liquides.

Machines à explosion. — Descriptions et résultats. — Etudes sur la combustion des mélanges détonants.

Études expérimentales de machines thermiques. — Etude du combustible. — Travail indiqué. — Travail effectif. — Rendement organique. — Etude des gaz d'échappement. — Rendement thermique.

Procédés d'allumage.

Régulateurs de vitesse.

Influence de la compression préalable.

Joints, graissage, mise en train, organes divers.

Données statistiques sur les machines thermiques.

FONDATEIONS ELASTIQUES ET ISOLANTES

en vue d'amortir les chocs et les vibrations

PAR

G. ANTHONI

Les moyens employés jusqu'à ce jour pour amortir les chocs et les vibration et les empêcher de se transmettre au loin ont rarement donné de bons résultats.

On a employé les fondations rigides ou les corps élastiques.

Les fondations rigides, formées de massifs de maçonnerie, même avec superposition de charpentes et entourées de tranchées sont restées insuffisantes ; il est facile de comprendre qu'il n'y avait pas isolement complet, les vibrations se transmettant par la base.

On a employé des fondations avec caoutchouc interposé sous les pièces à isoler. Ce procédé a donné de bons résultats dans certains cas, mais aussi beaucoup d'insuccès dont il est utile de rechercher les causes.

Le meilleur moyen d'isoler deux pièces est d'interposer du caoutchouc, qui offre toute garantie, si on a soin d'éviter les deux montages défectueux dont je vais signaler les inconvénients.

1° La pièce à isoler est simplement *posée* sur des blocs de caoutchouc.

Ce mode d'emploi du caoutchouc, usité de tout temps, donne de très bons résultats parce que l'isolement est complet, mais on peut rarement l'utiliser ainsi. En effet, dans les machines à vapeur, ce montage serait instable et le service difficile ; dans les essoreuses, les ventilateurs, l'instabilité deviendrait même dangereuse ; dans les marteaux pilons, ce montage diminuerait l'effet utile, le poids de la chabotte se trouvant diminué, par suite de l'interposition des blocs de caoutchouc sous la semelle du batis, de toute la masse du sol environnant, qui augmentait auparavant l'effet utile, mais en recevant et en transmettant, il est vrai, les vibrations dont le caoutchouc empêche la transmission.

2° La pièce à isoler est posée sur des blocs de caoutchouc et *fixée par des boulons* pour lui donner de la stabilité.

Les vibrations passent alors par les boulons et l'isolement que l'on cherchait à obtenir, par l'emploi du caoutchouc, ne peut se produire ; le caoutchouc est

donc employé en pure perte : en effet, si on serre fortement le boulon pour donner de la stabilité, le caoutchouc se comprime et perd son élasticité ; si au contraire on ne serre pas le boulon, il est alors aussi employé en pure perte, puisqu'on n'obtient pas plus de stabilité que lorsque la pièce est simplement posée sur les blocs de caoutchouc et que souvent le boulon se casse par les contrecoups.

Ce montage défectueux est appliqué à un grand nombre de wagons de chemins de fer et ne peut produire aucun résultat.

Les insuccès peuvent aussi venir du mauvais emploi du caoutchouc, car pour réussir un isolement, il y a lieu d'étudier les conditions que doivent remplir les blocs au point de vue de leur qualité, de leur forme, de leur surface et de leur épaisseur ; employé dans les conditions ci-dessus, le caoutchouc donne toute sécurité de souplesse et de durée ; des blocs de caoutchouc, retirés au bout de dix ans du dessous d'un marteau pilon ayant constamment fonctionné, se sont trouvés en parfait état de conservation.

Les *fondations* et les *attaches élastiques* et *isolantes* de M. G. Anthoni évitent les inconvénients signalés plus haut.

Pour isoler les machines sur ses fondations élastiques, M. G. Anthoni construit sur le bon sol un plancher métallique destiné à répartir uniformément la pression. Des blocs de caoutchouc, placés sur ce plancher, supportent un second plancher formé d'une tôle et de fers profilés sur lesquels on fixe les machines à isoler.

Pour donner de la stabilité, M. G. Anthoni emploie deux procédés.

Le premier consiste à augmenter la masse en bâtissant un *massif*, d'un poids convenable, entre le plancher supérieur et la machine à isoler ; ce moyen est applicable aux marteaux pilons notamment, pour ne pas diminuer leur effet utile.

Le second moyen de donner de la stabilité consiste à fixer par des *attaches élastiques* garnies de caoutchouc, le plancher supérieur, qui porte directement les machines, au plancher inférieur qui supporte le poids total, par l'intermédiaire des caoutchoucs, et le répartit uniformément sur le sol.

M. G. Anthoni met à la disposition des membres du Congrès sa brochure sur l'*isolement* et donne quelques détails sur ses différents procédés qui sont applicables aux voitures, wagons, transmissions, essoreuses, ventilateurs, machines à imprimer, à planer, marteaux pilons, machines à vapeur et dynamos, etc. L'application de l'isolement aux voitures, par le tasseau élastique placé entre l'essieu et le ressort, augmente leur durée en augmentant la douceur de la suspension.

L'isolement complet obtenu par les fondations élastiques a son importance spéciale au point de vue de l'isolement des machines électriques, qui sont ainsi complètement isolées du sol.

LES MOTEURS SECONDAIRES

à l'Exposition Universelle de 1889

PAR

Gustave RICHARD

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES

INTRODUCTION

Je n'ai pu, dans les divers chapitres de ce petit ouvrage, qu'effleurer pour ainsi dire les sujets dont ils parlent, et qui auraient exigé, pour être traité à fond, des développements que ne comporte pas le cadre, même si étendu, de cette encyclopédie. Ma tâche a été d'ailleurs singulièrement simplifiée parce que deux des sujets abordés dans ce travail : la distribution domestique de la force par l'air comprimé et par l'air raréfié, ont été traités au Congrès de Mécanique par des spécialistes éminents, dont les mémoires ont été reproduits ici même (1).

Je n'ai donc eu à parler avec quelques détails que des machines à air chaud des moteurs à vapeur domestiques et des moulins à vent.

La *machine à air chaud* n'a fait, depuis longtemps, que de très faibles progrès. Cela tient à ce qu'elle ne présente en principe, comme nous le verrons, que d'assez rares avantages d'économie sur la machine à vapeur, pour les grandes forces du moins, et à ce qu'elle a rencontré, pour les forces moyennes, un rival presque toujours victorieux dans le moteur à gaz. Il n'y a rien d'anormal à cela, car le moteur à gaz n'est pas autre chose qu'une machine à air chaud à foyer intérieur débarrassée de tous les impédimenta habituels à ce genre de foyer, c'est-à-dire, excessivement simple, propre, automatique, marchant sans surveillance, plus énergique et moins encombrante parce qu'elle fonctionne à des

1. *Boudenoot* « Transmission à distance et distribution du travail par les procédés autres que l'électricité » (eau, air, câbles). — *Donaldson* « Transmission de la force par les fluides sous pression, et son application spéciale au pompage des eaux d'égout. » *Hanarte* « Transmission du travail à distance par l'air comprimé et raréfié. » — *Solignac* « Transport de l'énergie par l'air comprimé. »

pressions beaucoup plus élevées. Très économique aussi, car, lorsqu'on fabrique spécialement son gaz, au Dowson, par exemple, elle ne consomme pas même un kilogramme de charbon par cheval effectif. C'est, en somme, le plus commode et le plus économique des moteurs à air chaud sans régénérateur. On ne s'en doute guère en France, où le moteur à gaz est à peu près dix fois moins employé qu'en Angleterre ou en Allemagne; mais cette interdiction du moteur à gaz en France tient à ce que, dans notre pays, le gaz de force motrice est vendu en moyenne trois ou quatre fois plus cher qu'à l'étranger, en vertu de combinaisons administratives incapables de se troubler pour si peu que de suivre les progrès de la mécanique ou de satisfaire aux besoins de l'industrie.

Pour les grandes forces, avec des machines dont le développement comporterait l'emploi rationnel mais compliqué, coûteux et encombrant d'un régénérateur, le moteur à air chaud reprendrait théoriquement l'avantage. Nous disons théoriquement, car cet avantage n'a jamais été acquis, même par la meilleure des machines à air chaud : celle de Stirling (1); et, du jour où l'on aurait trouvé un régénérateur pratique pour la machine à air chaud, il le serait aussi pour le moteur à gaz. Là se résume, en effet, toute la question des moteurs à air chaud pour grandes forces : ils n'y seront pratiques — nous ne disons pas supérieurs aux bonnes machines à vapeur — que du jour où le régénérateur industriel sera trouvé. Actuellement, ce régénérateur n'existe pas : tous les régénérateurs actuels, de capacité à peu près suffisante, bien entendu, sont excessivement encombrants, mais surtout excessivement fragiles, aucune matière usuelle ne résiste à leurs variations incessantes de températures : tout s'oxyde, se brûle ou s'effrite.

L'histoire des machines à air chaud présente donc ce fait, bien rare et curieux, d'une machine théoriquement presque parfaite — celle de Stirling — découverte presque du premier coup, bien avant que l'on put en faire la théorie exacte, puis arrêtée net dans son développement par une difficulté d'ordre purement pratique, et que l'on croirait, au premier abord, facile à vaincre. Jamais problème ne fut plus nettement posé, mieux défini, dans ces vingt dernières années du moins, que celui du régénérateur de chaleur; et pourtant, à l'Exposition de 1889, il n'y avait aucune machine à air chaud fonctionnant avec un régénérateur. On peut donc affirmer en toute sécurité que, depuis longtemps, la machine à air chaud n'a pas accompli de progrès véritablement sérieux. Tout s'est borné à l'amélioration de détails de construction, importants sans doute, qui ont rendu un peu plus économique et surtout plus commode et plus assuré la marche des moteurs de petites forces.

Il n'en est pas de même des *distributions de force par l'air comprimé, l'air raréfié et la vapeur*, qui n'existaient pas en 1878, et qui se sont développés : les deux premières à Paris et la troisième aux Etats-Unis, avec une rapidité surpre-

1. Voir l'annexe.

nante. L'important, dans ces installations, ce qui domine tout, c'est la canalisation : son prix d'établissement, son entretien, son rendement mécanique, et surtout son utilisation commerciale, qu'il ne faut jamais oublier, quand on les compare à d'autres systèmes de distribution de force motrice : au gaz par exemple, sûr de vendre à bons prix tout ce qu'il peut produire. En outre, le gaz ne s'occupe que de lui-même : la machine qu'il fait tourner ne le concerne pas, c'est l'affaire d'une spécialité étrangère à son exploitation, et qui lui évite une foule de frais accessoires et d'ennuis. Il en est de même pour les distributions de vapeur ou d'eau surchauffée des Etats-Unis, dont la grande affaire est le chauffage. On voit de suite combien il est difficile, en raison de la multiplicité de leurs fonctions et de l'influence si considérable des circonstances locales, d'établir des comparaisons *a priori* entre ces différents modes de distribution. Tout ce qu'on peut dire, c'est que l'air comprimé ou raréfié se présente souvent avec une infériorité de principe considérable, tenant à ce qu'il ne peut procurer directement que la force motrice, sans la chaleur ni la lumière ; de sorte qu'il ne peut guère subsister normalement que là où le gaz et l'électricité, qui sont des agents de transmission de l'énergie pour ainsi dire universels, font défaut, ou se vendent à des prix administratifs absolument illégitimes. On peut même, il semble, aller un peu plus loin, et prédire avec une certaine probabilité que ces distributions seront, dans un avenir plus ou moins lointain, remplacées par des distributions électriques. Cela semble se manifester clairement aux Etats-Unis, où l'on voit déjà s'ébaucher la cité de l'avenir, dont l'éclairage, les transports, la force et peut-être le chauffage à domicile seront desservis par l'électricité.

Nous avons néanmoins décrit quelques petites machines à vapeur domestiques qui peuvent rendre parfois de grands services aux industriels en chambre. Ces moteurs sont très répandus aux Etats-Unis : beaucoup sont chauffés très commodément au pétrole, qui ne coûte pas cher en Amérique. Avec un pareil chauffage et un système de condensation permettant d'employer toujours la même eau, à quelques fuites près, on arrive à réaliser de petites machines très propres, commodées et pratiquement sans danger. Ce danger peut d'ailleurs être complètement annulé, mais en augmentant considérablement le volume des moteurs, en les faisant fonctionner sans pression, par le vide même du condenseur, comme dans les machines atmosphériques de Davey, qui figuraient à l'Exposition.

Nous ne pouvons que signaler ici les machines à vapeurs binaires ⁽¹⁾ ou plus volatiles que celle de l'eau ⁽²⁾, dont on ne peut guère espérer qu'une activité plus grande, sans économie de combustible dans la majorité des cas. A moins de

1. *Haton de la Goupillière*. — Cours des machines, vol. 2, p. 841. Engineering, 9 janvier 1885, p. 36. — *Wood*. Theoretical Efficiency of Vapour Engines (American Society of Mechanical Engineers, 1891).

2. Telles que le sulfure de carbone. — *Ellis* (Rankine « Manuel de la Machine à vapeur, » p. 683). — *Colwell* et *Davis*. *Roland* (brevets anglais 2830, et 3035, de 1885)

cas particulier comme celui des petites machines pour canots de *Yarrow* ⁽¹⁾ et de *Quillfeldt* ⁽²⁾ qui fonctionnent à vapeur et surtout à foyer de pétrole, avec des condenseurs à surface très réduits, un graissage automatique parfait, une mise en feu rapide et presque automatique — on peut dire que l'eau, qui ne coûte rien, n'oxyde rien, n'incendie pas et n'intoxique personne est de beaucoup le meilleur corps travailleur que l'on puisse employer pour les machines à vapeur.

Les machines à gaz liquéfiés (acide carbonique ammoniac) ⁽³⁾ ne sont guère sorties de quelques spécialités telles que la manœuvre de certains torpilleurs automoteurs ⁽⁴⁾ où elles luttent avec les moteurs à air très comprimé ⁽⁵⁾ ou électriques ⁽⁶⁾.

Quant aux machines à explosifs, d'une construction très difficile et d'une activité assez faible en raison de la mauvaise utilisation de la chaleur de combustion des explosifs, toujours très inférieure à la chaleur du charbon, elles paraissent encore reléguées dans le domaine très intéressant des curiosités mécaniques ⁽⁷⁾.

Il en est encore à peu près de même, mais à un degré se rapprochant plus d'un avenir pratique des *moteurs solaires* dont l'origine se perd, dans l'antiquité la plus reculée et dont les derniers types très ingénieux figuraient à l'Exposition. On les trouvera décrits dans une autre partie de ce recueil.

Les *moulins à vent*, aussi très anciens, occupaient à l'Exposition de 1889 un grand espace, mais ne présentaient pas de bien grands progrès sur leurs prédécesseurs de 1878. On n'y retrouvait que des variantes plus ou moins ingénieuses du type dit « américain », de petites forces, employées presque toujours à l'actionnement des pompes. Nous avons décrit sommairement les principaux de ces appareils et de leurs concurrents les « panémons » en général moins gracieux d'aspect.

1. Génie civil, 14 juillet et 4 août 1888, p. 173, et 217. — The Engineer, 21 juin 1889, p. 528, brevet anglais 7467, de 1888.

2. Revue industrielle, 23 février 1889. — La Nature, 21 juin 1890. — American Machinist, 12 juin 1886. (Brevets anglais 790, de 1887, et 16838 de 1888. (Application aux pompes à incendie). Voir aussi les machines de *Biddison*, brevet anglais 12467 de 1887.

3. *Haton de la Goupillière*, Cours des Machines. (Voir, outre cet ouvrage et les documents qu'il cite : pour l'emploi de l'acide carbonique liquide, les brevets anglais de *Brunel*, n° 5212 de 1825 (Mechanic's Magazine, vol. V), et *Talbot*, n° 10539, de 1845, ainsi que les brevets français de *Giffard*, 97258, de 1874, et de *Montricher*, 12326, de 1878; et, pour le gaz ammoniac, les brevets anglais *Greissenberger et Cherpit*, 3056, de 1871, *Gamgee* 1451, de 1881, et » The Engineer, » 21 avril 1881; *Hill et Nishigawa*, 1317, de 1876 (français n° 114732), et le brevet français *Pollard*, 96113, de 1876.

4. *Lay*. — Lumière électrique, 1^{er} septembre 1883, et 20 décembre 1884.

5. *Whitehead*. — Engineering, 14 novembre 1890. — *Brin frères et Chapman*. — Oxygène et vapeur de pétrole, Lumière électrique, 7 avril 1888.

6. *Nordenfeldt, Williams Waddington*. — Lumière électrique, 16 août, 20 décembre 1884, 7 avril 1888.

7. *Haton de la Goupillière*. — Cours de Machines, vol. 2, p. 853. (Voir aussi le curieux brevet anglais de *Medhurst* 2431, 2 août 1880.

MACHINES A AIR CHAUD

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Dès l'origine, les machines à air chaud ont été considérées comme infiniment supérieures *a priori* aux machines à vapeur, pour diverses raisons dont la thermodynamique a depuis démontré la fausseté, et notamment parce que l'on croyait pouvoir gagner par l'emploi de l'air la chaleur latente ou de vaporisation de l'eau, considérée alors comme perdue dans la machine à vapeur ⁽¹⁾. Aujourd'hui, ces préjugés n'existent plus, ou, du moins, ne sont plus admissibles. Mais il existe en faveur de la machine à air chaud un avantage théorique véritable, découvert par la thermodynamique même : c'est de pouvoir fonctionner *théoriquement* avec des chutes de température plus élevées que la machine à vapeur. On sait, en effet, que les pressions des gaz sont indépendantes de leurs températures, tandis que ces deux variables sont rigoureusement fonction l'une de l'autre avec les vapeurs saturées. Malheureusement, cet avantage n'est, le plus souvent, que tout à fait théorique, car il faut non seulement pouvoir créer cette chute de température, mais aussi l'utiliser. La chute de température ne donne pas d'elle-même le cycle qui détermine le coefficient économique du moteur, et ce coefficient ne tient compte ni du prix, ni de l'encombrement, ni de l'entretien, ni du rendement organique du moteur : toutes données essentielles en pratiques, dont dépend la valeur industrielle de la machine.

Au point de vue pratique, qui doit tenir compte de toutes ces difficultés, les machines à air chaud peuvent se diviser en deux grandes classes : les machines à *foyer intérieur* ou fermé, qui utilisent les gaz mêmes du foyer dans leur cylindre, et les machines à *foyer extérieur*, ou à foyer ouvert, dans lesquelles le foyer chauffe indirectement l'air moteur.

Les premières machines : celles à foyer fermé, sont de beaucoup les plus nombreuses, puisqu'elles comprennent comme variété toutes les machines à gaz et à pétrole. — Elles présentent l'avantage d'un rendement du foyer beaucoup plus élevé que celui des machines à foyer ouvert ; mais elles sont — à l'exception des moteurs à gaz dont c'est le principal avantage — limitées à de faibles pressions, qui les rendent très volumineuses, et elles marchent forcément à cycle ouvert. En outre, l'emploi des régénérateurs, plus sujets à s'y encrasser, est encore plus difficiles sur ces machines que sur les moteurs à foyer ouvert. — Ces machines semblent condamnées à un encombrement relativement considérable, à un rendement organique faible, et à une perte notable de chaleur par les parois de leur cylindre ou par l'échappement. Leur foyer est d'un entretien difficile, et il lui manque encore un bon appareil

1. Hirn « Théorie mécanique de la Chaleur, » vol. II, p. 87 (Gauthier-Villars, 1876).

de chargement automatique, permettant de le laisser marcher longtemps sans surveillance comme un moteur à gaz. Quant à la protection du cylindre contre la chaleur excessive et les poussières du foyer, la question paraît à peu près résolue par l'emploi d'une chasse d'air analogue à celle des machines *Bénier*. En fait, sauf dans quelques circonstances exceptionnelles, les machines à foyer fermé ne sauraient s'appliquer utilement à des forces supérieures à une quinzaine de chevaux.

Il n'en est pas de même des machines à foyer ouvert, pouvant marcher à cycle fermé, c'est-à-dire en employant toujours le même air, et à des pressions considérables ; le rendement du fluide peut y être plus élevé et l'encombrement plus réduit qu'avec les machines à foyer fermé. En outre, il est possible que l'on parvienne à leur adapter enfin un régénérateur pratique, peu encombrant, efficace et durable. Ce problème du régénérateur, très nettement posé dès l'origine des machines à air chaud, est des plus difficiles ; mais on ne peut pas dire qu'il soit impossible, et c'est de lui que dépend l'avenir des machines à air chaud pour les grandes forces du moins.

L'Exposition de 1889 ne présentait malheureusement rien de nouveau à ce sujet. — Elle était, de fait, excessivement pauvre en machines à air chaud, de sorte que, si je m'étais borné à décrire les machines exposées, ce travail se serait limité à deux ou trois pages.

J'ai préféré l'étendre un peu en raison de l'intérêt du sujet, mais sans lui donner le moins du monde l'allure d'un traité sur les machines à air chaud, dont j'ai, au contraire, supposé connus les principes, exposés aujourd'hui dans les traités de thermodynamique et dans tous les cours de machines ⁽¹⁾. Je me bornerai à rappeler l'attention du lecteur sur quelques points particuliers importants, notamment sur l'utilité des régénérateurs. J'ai également supposé connus les types classiques de machines à air chaud : de *Stirling* ⁽²⁾, d'*Ericson* ⁽³⁾, de *Franchot* ⁽⁴⁾, de *Belou* ⁽⁵⁾, de *Laubereau* ⁽⁶⁾, dont on

1. Notamment, *Haton de la Goupillière* « Cours de Machines, vol. 2 (Dunod, 1889). — *Bourget et Bourdin* « Théorie mathématique des Machines à air chaud, » 1865. — *Rankine* « Manuel de la Machine à vapeur (Dunod, 1878). — *Briot* « Théorie mécanique de la Chaleur. » — *Zeuner* « Thermodynamique, » (Gauthier-Villars), 1869. — *Moutier* « Thermodynamique, » (Gauthier-Villars, 1885). — *Hirsh* « Théorie des Moteurs aérothermiques, » (Dunod, 1874). — *Pochet* « Mécanique industrielle, (Dunod, 1874). — *Devillez* « Traité de la Chaleur, » (Baudry 1888). — *Ledieu* « Les nouvelles Machines marines, » (Dunod, 1876).

2. *Rankine* « La Machine à vapeur ». Voir aussi l'annexe du présent mémoire.

3. *Rankine* « La Machine à vapeur. » — *Zeuner* « Théorie mécanique de la Chaleur, » p. 194. *Ledieu* « Nouvelles Machines marines, » vol. 1, p. 200. — Voir l'annexe.

4. Bulletin de la Société d'Encouragement, 1863, p. 88. — *Pochet* « Mécanique industrielle, » p. 198. — *Haton de la Goupillière* « Cours de Machines, » vol. 2, p. 604.

5. *Tresca*. — Bulletin de la Société d'Encouragement, 1867, p. 34. — *Haton de la Goupillière* « Cours de Machines, » page 649, brevet français 73943, 4 décembre 1866.

6. *Haton de la Goupillière*, p. 647. Brevets français 55720, 27 septembre 1862 ; 65880, 4 janvier 1865 ; 114470, 7 septembre 1876. — Brevets anglais 10830, 4 septembre 1845 ; 213, 24 janvier 1859.

trouve la description dans presque tous les cours ou traités de machines (1).

1. On trouvera de nombreux détails dans les brevets suivants :

Boulton et Perrett, brevet français 150277, 24 juillet 1882. — On chauffe au rouge un amas de briques dans le genre de ceux des fours Siemens, puis on éteint le feu. La machine marche un certain temps par l'échauffement de l'air qu'elle refoule à travers les réchauffeurs par la petite face d'un piston moteur différentiel, dont la grande face reçoit l'air chaud. On obtient une marche continue en accouplant deux de ces réchauffeurs sur une seule machine.

Brevet anglais 2136, 16 février 1885. — Machine à 3 cylindres, à pistons enfilés, sur un même axe : pompe, déplaceur et moteur, et disposés de manière à donner un effort de rotation le plus uniforme possible.

Cellerier et Turettini, brevet français 145280, 12 octobre 1881. — Machine Stirling avec régénérateur analogue à celui de Rankine et Napier simplifié (voir l'annexe).

Charles, 84395. — Perfectionnement aux machines Roper (voir ci-après). Régulateur et chargeur du foyer.

Heinson, Huch et Windhausen, brevet français 54735, 29 juin 1862. — Machine à foyer intérieur : piston moteur du cylindre protégé par une chasse d'air froid. Régularisation par le refoulement de la pompe au foyer.

64339, 6 septembre 1864. — Développement de la précédente simplifiée, à parties frottantes protégées par une circulation d'air froid.

64759, 19 octobre 1864. — Machine atmosphérique fonctionnant par la contraction de l'air chaud au contact d'un condenseur mixte, à surface et à injection.

144862, 16 septembre 1881. — Développement du type précédent marchant avec air et vapeur.

Knab, brevet anglais, 16647, 18 décembre 1884. — Machine genre Ericson, fonctionnant à de très hautes températures, par de l'air chauffé par un régénérateur et brûlant de l'oxyde de carbone arrivant au rouge d'un réchauffeur. Alésage du cylindre moteur protégé par une chasse d'air froid.

Martin et Gilles, brevet français 156059, 15 juin 1883. — Simplification du moteur Buckett.

Roper, brevet français 57074, 15 janvier 1863. — Foyer intérieur isolé de la distribution. Alésage du cylindre moteur protégé par une chasse d'air froid.

Sébillot, brevet français 71539, 9 mai 1866. — Petit moteur domestique à foyer alimenté par l'échappement.

Soderstrom, brevet français 80922, 12 mai 1868. — Machine rapide à foyer clos. Distribution par tiroirs sans clapets.

87421, 9 octobre 1868. — Machine précédente avec foyer extérieur.

81914, 31 juillet 1868. — Petite machine Ericson verticale simplifiée.

88928, 12 février 1870. — Id. à piston déplaceur pesant libre.

Sudheim, brevet français, 146504, 22 décembre 1881. — Petite machine Ericson verticale à déplaceur sectionné. Graissage automatique.

Telescheff, brevet français 701152, 23 janvier 1866. — Production directe d'air comprimé par injection de vapeur sous pression, entraînant de l'air et les gaz du foyer.

Wells, brevet anglais, 12999, 17 août 1889. — Petite machine Ericson marchant au gaz.

Dans toute machine thermique, on fournit au corps qui y travaille une certaine quantité de chaleur Q_1 : une partie de cette chaleur est utilisée en travail, et le restant, Q_2 , se perd ou, du moins, n'est pas utilisé dans la machine.

On appelle *coefficient thermique économique*, ou simplement *coefficient économique* de cette machine le rapport

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

de la chaleur utilisée ou transformée en travail à la chaleur totale fournie.

La valeur du coefficient économique varie avec la nature du cycle que décrit le corps travailleur et la chute de température qu'il y subit. Le problème des machines thermiques consiste, étant donné un corps travailleur : air ou vapeur, susceptible de fonctionner entre deux températures extrêmes limitées par la nature de ce corps ou par celle des matériaux de la machine, chercher le cycle qui rendra le coefficient économique le plus grand possible *pratiquement*. J'entends, par le mot *pratiquement*, que l'on tiendra compte, dans l'adoption de ce cycle, des conséquences qu'il entraîne pour le prix, l'encombrement, la conduite, le rendement organique et l'entretien du moteur.

Si l'on efface du programme le mot *pratiquement*, la réponse est faite : le cycle qui répond à la condition posée est le *cycle de Carnot* limité, comme on le sait, par deux adiabatiques et deux isothermiques, et dont le coefficient économique est égal au quotient

$$\frac{t_1 - t_2}{\tau_1}$$

de la chute de température du corps travailleur par sa température *absolue* la plus élevée dans le cycle ($\tau_1 = t_1 + 273^\circ$).

On se rend compte de la raison d'être de ce maximum en considérant (fig. 1) un cycle quelconque — fermé et réversible comme lui — inscrit exactement dans un cycle de Carnot, $m n o p$, c'est-à-dire, décrit le plus favorablement possible par rapport à ce cycle.

Soient c et d les points de tangence de ce cycle aux adiabatiques $a_1 a_2$. De c en d , le corps travailleur recevra du foyer une quantité de chaleur q , et il en cédera au réfrigérant, de d en e , une quantité q' . D'autre part, ses états seront bien les mêmes aux points c et d qu'aux mêmes points du cycle de Carnot circonscrit.

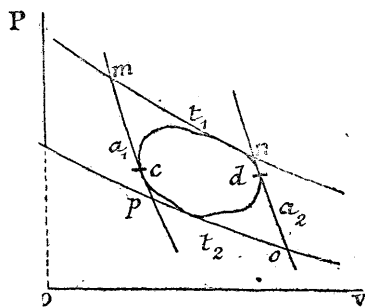


FIG. 1

Or on voit, sur la figure, que les travaux $\int p dv$ équivalents aux périodes de

réception et de cession de chaleur sont respectivement plus grands et plus petits dans le cycle de Carnot que dans le cycle inscrit, de sorte que les chaleurs reçues et perdues, q_1 et q_2 , sont, dans le cycle inscrit, respectivement plus petites et plus grandes que les chaleurs Q_1 et Q_2 reçues et perdues au cycle de Carnot ; c'est bien dire, que l'on a

$$1 - \frac{Q_1}{Q_2} > 1 - \frac{q_1}{q_2}.$$

Il y a, d'autre part, une raison physique sensible à ce maximum, car, si l'on prolongeait la détente au-delà du point o par exemple, la température du corps, descendant au-dessous de celle du réfrigérant, ne pourrait le faire qu'en y consacrant un travail dont le rendement ne saurait être égal à l'unité. De même, on ne pourrait dépasser le point m qu'en portant mécaniquement le corps à une température supérieure à celle du foyer, opération dont le résultat se traduirait encore par une perte. C'est comme si l'on voulait, toute analogie réservée, augmenter le rendement d'une machine à colonne d'eau en soulevant mécaniquement à chaque coup son bief d'amont. On n'a donc pas avantage à dépasser les limites du cycle de Carnot. On n'en a pas non plus à les rétrécir, c'est-à-dire à diminuer la chute de température $t_1 - t_2$, pas plus qu'à réduire, dans un moteur hydraulique, la hauteur de la chute d'eau. Sous une autre forme, dans le cycle de Carnot, la chaleur Q_1 , cédée au corps, a été employée uniquement, à développer son travail, et la chaleur Q_2 a été cédée à la source de froid le plus économiquement possible, puisque le corps travailleur a quitté la machine à la température la plus basse du cycle. C'est la raison physique du rendement maximum du cycle de Carnot.

Il semble donc que tout le perfectionnement des machines thermiques, et en particulier des moteurs à air chaud, doive consister à réaliser à tout prix le cycle de Carnot ; mais telle n'est pas la vérité, car le cycle de Carnot est tout à fait irréalisable avec les moteurs à air chaud, et sa réalisation ne conduirait, fut-elle possible, qu'à des machines tout à fait impraticables.

Le cycle de Carnot est irréalisable parce qu'il suppose que la chaleur y soit reçue et rejetée à des températures constantes, c'est-à-dire que, pendant ces opérations, la température du corps travailleur ne diffère, à chaque instant, qu'infinitement peu de celles du foyer et du réfrigérant. Or, ces conditions supposent deux impossibilités physiques : des foyers et des réfrigérants d'une capacité calorifique infinie, et un corps travailleur d'une conductibilité également infinie. Notez, qu'en outre, ce corps doit travailler dans des cylindres de conductibilité nulle, pour pouvoir décrire ses adiabatiques, et que sa pression ne doit jamais différer qu'infinitement peu de la résistance du piston, afin que ses mouvements intérieurs : tourbillons etc., n'y développent aucune force vive appréciable, con-

ditions qui imposent des cylindres en une matière imaginaire et des pistons animés d'une lenteur irréalisable.

Mais supposons que l'on puisse réaliser ces échangeurs de température de capacités et de conductibilités infinies, en même temps que des cylindres adiabatiques ; la grandeur, le prix et les résistances passives des machines à cycle de Carnot s'opposeraient encore à son emploi d'une façon presque absolue. En résumé, l'emploi du cycle de Carnot supposé réalisable conduirait, pour des coefficients économiques théoriquement modérés — 0,70 par exemple — à des pressions et à des températures très élevées — dépassant 120 atmosphères et 900° — et à des volumes inadmissibles. En pratique, on ne pourrait dépasser un coefficient de 0,55.

C'est ici qu'intervient la considération très importante des lignes *isodiatiques* de *Rankine* (1). On appelle ainsi deux courbes, remplaçant les deux adiabatiques $a_1 a_2$ du cycle de Carnot, et telles que la chaleur cédée par le corps pendant son refroidissement — suivant l'isodynamique remplaçant a_2 — soit, à chaque instant, égale à la chaleur reçue pendant son échauffement — suivant l'isodynamique remplaçant a_1 .

Un pareil cycle, étant fermé et réversible, satisfait à l'équation de Clausius

$$\int \frac{dQ}{T} = 0$$

et, comme la portion de cette intégrale relative aux transformations no et pm (fig. 1) est nulle par définition, il faut, pour que l'intégrale totale soit nulle, que l'on ait, comme dans le cycle de Carnot

$$\frac{Q_1}{t_1} = \frac{Q_2}{t_2},$$

de sorte que l'on peut dire que le coefficient économique de ce cycle, entendu comme nous l'avons défini page 232, est le même que celui du cycle de Carnot, mais pourvu que la chaleur q_{11} , fournie en no , soit restituée en son isodiatique mp , sous une forme q_{12} réellement utilisable. Sinon, il faut tenir compte des chaleurs q_{11} et q_{12} , qui ne sont pas nulles, et le coefficient économique reprend sa valeur théorique générale, égale au quotient de la différence totale des chaleurs fournies et rejetées par la chaleur *totale* fournie.

1. On the Geometrical Representation of the expansive Action of Heat and the Theorie of Thermodynamic Engines (Royal Institution Jan. 1854).

Cette valeur :

$$\frac{(Q_1 + q_{i1}) - (Q_2 + q_{i2})}{Q_1 + q_{i1}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 + q_{i1}}$$

est inférieure au coefficient économique du cycle de Carnot.

On se rendra facilement compte de l'intérêt que l'on aurait à remplacer les adiabatiques $a_1 a_2$ d'un cycle de Carnot, tel que celui représenté par la figure 2, par deux isodiabatiques i_1 et i_2 , en conservant pratiquement le même coefficient économique $1 - \frac{\tau_1}{\tau_2}$, avec des pressions et des volumes extrêmes beaucoup plus petits en m' et en o' qu'en m et en o .

Le difficile n'est pas de tracer théoriquement les isodiabatiques ⁽¹⁾ mais de les réaliser pratiquement au moyen d'appareils permettant de satisfaire à leurs échanges de températures sans perte de chaleur sensible pour la machine. Les appareils qui permettent de réaliser plus ou moins ces conditions sont connus sous le nom de *Régénérateurs de chaleur*.

Leur utilité incontestable est telle que de leurs perfectionnements paraît dépendre presque entièrement l'avenir des machines à air chaud et des moteurs à gaz ⁽²⁾.

Dans son sens le plus général, un régénérateur n'est autre chose qu'un appareil permettant d'emmagasiner puis de restituer de la chaleur théoriquement sans perte de calorique, et pratiquement avec une faible perte. On connaît les services inappréciables rendus par ces appareils aux arts chimiques et métallurgiques, notamment par leurs applications aux fours Siemens. Nous savons très bien qu'ils n'ont pas eu le même succès sur les machines à air chaud ; mais cela ne tient pas, comme on l'a dit quelquefois, à une erreur de principe, cela tient uniquement aux difficultés pratiques qui se sont opposées jusqu'à présent à la réalisation d'un *bon* régénérateur. Ces difficultés sont nombreuses et très graves. Le régénérateur doit, en effet, présenter une capacité calorifique très considérable, sous un volume aussi réduit que possible : offrir au passage du gaz des surfaces très étendues, et qui ne l'étranglent pas ; il doit surtout durer, ne pas se brûler ni s'effriter. C'est là la grande difficulté. Les toiles métalliques présentent bien une puissance d'absorption ou une activité d'échange très considérables ⁽³⁾, mais pendant peu de temps seulement, après quoi elles s'encrassent et se brûlent ; aucun métal ne résiste, sauf peut-être le platine ou le nickel, encore trop coûteux. Les matériaux réfractaires, tous poreux, s'effritent ou s'engorgent. Bref,

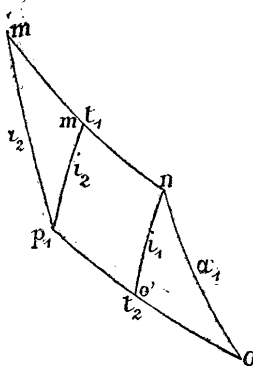


FIG. 2

1. *Haton de la Goupillière*. — Cours de machines, vol. 2, p. 627.

2. Voir l'annexe.

3. *Pochet*. — Mécanique industrielle, p. 167.

malgré de nombreuses recherches, poursuivies parfois avec la persévérance la plus éclairée et la mieux aidée de toutes les ressources ⁽¹⁾, le problème de la construction d'un régénérateur de chaleur véritablement pratique est encore à résoudre.

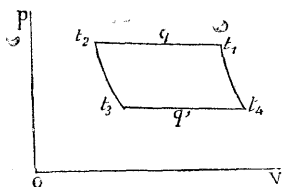


FIG. 3

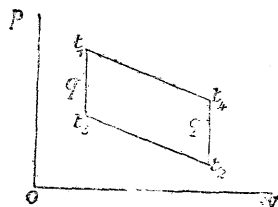


FIG. 4

Nous allons maintenant dire quelques mots des cycles théoriques autres que celui de Carnot, dont on cherche habituellement à se rapprocher le plus possible dans la pratique. Ces cycles sont, comme on le sait, au nombre de deux, limités, l'un (fig. 3) par deux adiabatiques et deux horizontales, l'autre (fig. 4) par deux adiabatiques et deux verticales. Les variations de chaleur s'effectuent dans le premier cycle à pressions constantes, et dans l'autre sous volumes constants. — Ces deux cycles sont isodiabatiques, et ils donnent, entre des températures limites fixées, t_1 et t_2 le plus grand travail possible lorsque les températures intermédiaires t_3 et t_4 — au commencement de l'échauffement et à la fin de la première adiabatique, — sont égales entre elles et au produit $\sqrt{t_1 t_2}$. C'est ainsi que l'on obtiendrait la machine la plus énergique possible, point important dans l'industrie, et c'est aussi en se plaçant à ce point de vue que l'on a parfois contesté l'utilité des régénérateurs dans une machine bien construite, mais en prenant soin de ne pas indiquer par quelle bonne construction on pourrait bien arriver à réaliser ces cycles, puis à y faire $t_3 = t_4$. En fait, on n'a réussi qu'à détourner malheureusement l'attention des inventeurs d'un organe absolument essentiel à toute bonne machine à air chaud de quelque importance.

Le coefficient économique de ces cycles

$$\frac{q - q_1}{q} = 1 - \frac{\tau_2}{\tau_3}$$

est inférieur à celui du cycle de Carnot, correspondant $\varphi = 1 - \frac{\tau_2}{\tau_1}$.

Dans le cas du travail maximum, où $t_3 = t_4 = \sqrt{t_1 t_2}$, le coefficient est égal à

$$\varphi' = 1 - \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}}$$

et son rendement spécifique à

1. Notamment celles de M. Hirsch (voir l'annexe).

$$\varphi = \frac{t_2}{t_1} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{t_2}{t_1}}}$$

Ce rendement augmente peu avec la température t_2 , comme le démontrent les chiffres du tableau ci-dessous, pour lequel on a pris $t_2 = 273^\circ$, ou $t' = 0^\circ$.

Pour $t_1 =$	$\frac{t_2}{t_1} =$
0°	0,50
100°	0,54
200°	0,57
300°	0,59
400°	0,61
500°	0,63

Le second de ces cycles — variations de chaleur à pressions constantes — a été presque réalisé dans la machine de *Joule* (1), et non pas, comme on l'a dit souvent, dans la machine d'Ericson.

Dans les machines célèbres d'*Ericson* (2) et de *Stirling* (3), les adiabatiques irréalisables des cycles fig. 3 et 4, étaient remplacées par des isothermiques, isodiatiques par définition, et qui rendent l'emploi des régénérateurs indispensables, de sorte que le reproche que nous avons signalé plus haut ne porte pas, même au point de vue purement théorique, lorsqu'il s'agit des véritables cycles d'Ericson et de Stirling, ou mieux des cycles dont leurs machines se rapprochent le plus.

C'est dans les machines à foyers intérieurs que l'on retrouve des cycles qui se rapprochent le plus de celui de la figure 3, limité par deux courbes d'égales pressions et deux adiabatiques. Tel est, par exemple, le cas de la remarquable machine américaine de *Shaw*, peu connue en France, bien qu'elle ait été exposée à Paris en 1867 (4).

Les machines, à foyer direct, dont l'invention remonte à *Cayley* (1825), sont presque toujours construites sans économiseur ou régénérateur de chaleur : c'est le seul moyen que l'on ait encore trouvé d'en éviter l'encrassement. Elles sont alors très inférieures aux machines du genre Stirling et Ericson, mais théoriquement, et seulement en ce qui concerne le rendement du corps travailleur ou de l'air en jeu. Le rendement du foyer est, au contraire, bien meilleur, puisque le cylindre moteur en est comme le prolongement, c'est-à-dire que les gaz du foyer chauffent l'air moteur le plus directement possible. Il en résulte que ces machines seraient, au

1. *Rankine*. — La Machine à vapeur, p. 391 et 655, et *Philosophical Trans.*, 1851.

2. *Rankine*. — La machine à vapeur, Portefeuille économique des machines, 1880. — Bulletin de la Société d'encouragement, 1853, p. 44. — *Lissignol*. — Description de la machine Ericson, Le Havre, 1854 ; brevets anglais 5298 de 1826, 6409 de 1833, 1033 de 1855, 751 de 1856, 2110 de 1860, français 49806 de 1861, 92478 de 1871, 13851 de 1880 et « *Life of J. Ericson* » by W. C. Church, New-York, Scribner 1891.

3. Voir l'annexe.

4. Voir l'annexe

point de vue du rendement, de beaucoup les meilleures si on pouvait leur adapter un régénérateur efficace et durable, qui augmenterait leur rendement thermique de 50 à 60 %. — Pour le moment, elles paraissent ne pouvoir lutter que très difficilement avec les machines à vapeur, moins encombrantes, moins coûteuses souvent, aussi économiques à partir de 5 à 6 chevaux, et dont les dangers d'explosion peuvent être réduits à bien peu. — On n'en trouve guère d'applications que pour les petites forces ou pour les travaux intermittents, quand le gaz coûte trop cher ou n'existe pas. Nous en verrons quelques exemples dans les descriptions des machines qui vont suivre.

On a souvent essayé d'améliorer le rendement des machines à air chaud en les faisant fonctionner en allure mixte avec un mélange d'air et de vapeur surchauffée. Bien que la théorie n'indique pas un grand avantage en faveur de ces machines ⁽¹⁾, elles ont été, dans ces derniers temps, l'objet d'essais intéressants, notamment de la part de M. *Hock* ⁽²⁾; mais nous ne pouvons que renvoyer, à ce sujet, le lecteur aux sources originales, car aucun de ces moteurs, qui n'ont rien de domestique, ne figurait à l'Exposition ⁽³⁾.

1. *Rankine*. — Manuel de la machine à vapeur, p. 657. — *Haton de la Goupillière*. — Cours de machines, vol. II.

2. Portefeuille économique des machines, août 1883; brevet français 136306 de 1880.

3. Voir aussi les brevets anglais *Ericson*, 5398 de 1826; *Normand*, 1103 de 1857; *Pascal*, 21 et 2912 de 1853, 1593 de 1855, 1366 de 1866; *de Romilly*, 1848 de 1875; *Siemens* 326 de 1852, 2074 de 1860; et les brevets français *Bourne*, 90510 de 1870; *Carpentier*, 120934 de 1877; *Givord* 89099 de 1870; *Struve* 64887 de 1864, et la Description du moteur *Haggreaves* the Engineer, 27 janvier 1888.

MACHINES A FOYER EXTÉRIEUR

Machines Lehmann-Bailey (Cycle fermé)

Cette machine, inventée en 1868 par Lehman, et construite en Angleterre par MM. Bailey and C^o, de Manchester, a subi de nombreuses modifications dont nous ne décrirons que les derniers types.

Le fonctionnement de la machine représentée par la figure 5 est presque iden-

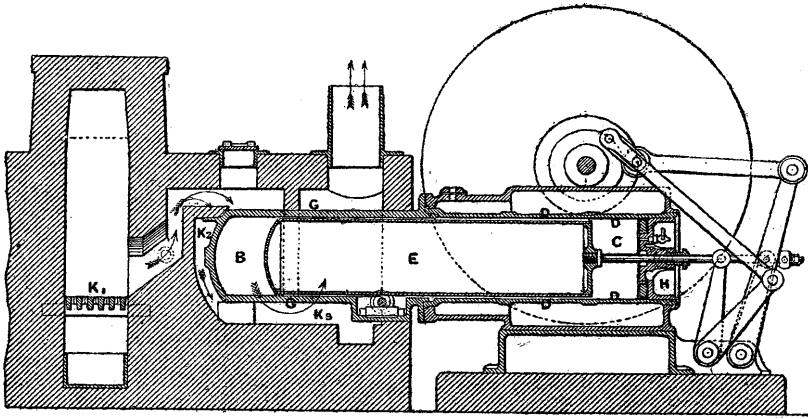


Fig. 5, *Machine Lehman Bailey, type horizontal.* — K_1 foyer à grille, dont les gaz s'échappent par la cheminée après avoir, suivant les flèches, l'éché en K_2 , K_3 , les parois du pot cylindrique en acier B, E, piston déplaceur soutenu par des galets et conjugué au piston moteur H, de manière à s'en écarter puis à s'en rapprocher alternativement. D, cylindre moteur laissant, entre ses parois et celles du déplaceur E, un jeu faisant fonction de petit régénérateur. C'est une machine Stirling à basse pression, sans pompe de compression.



Fig. 6. — Diagramme d'une machine Bailey de un cheval : pression maxima, une atmosphère effective.

tique à celui de la machine plus connue de Robinson. L'air passe de l'avant à l'arrière de la machine au travers du long espace annulaire ménagé entre le piston dépla-

1. Brevets anglais 80110, 29 février 1868, et 1357, 26 mars 1881. — Brevet français 130060, 8 avril 1879. — *Jenkin*. — Gas and Caloric Engines.

ceur E et les parois du cylindre : cet espace joue en partie le rôle d'un réchauffeur. Les parois du cylindre refroidissent l'air quand il passe de B en C, puis elles lui restituent de la chaleur quand il passe de C en B. Le déplaceur E et le piston moteur H sont conjugués par un jeu de manivelles représenté en fig 7, dans une variante de ce moteur.

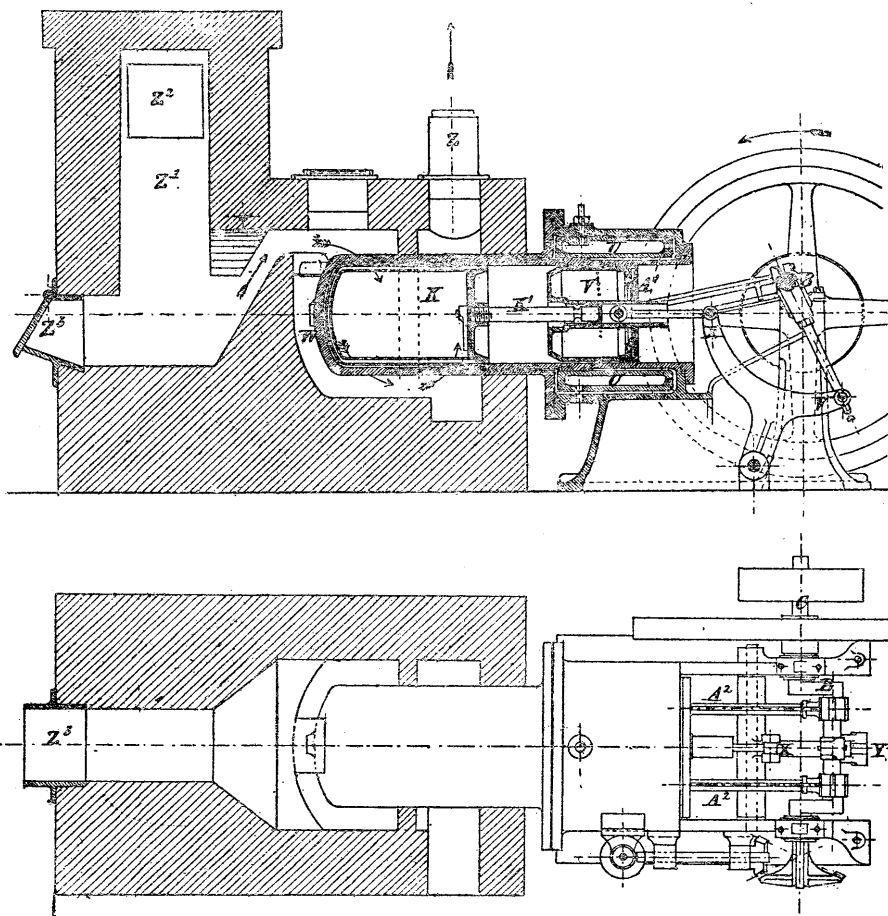


Fig. 7 et 8, *Machine Lehman-Bailey horizontale* — (type de 1881). — Coupe longitudinale et plan.

z_1 foyer gazogène sans grille, alimenté de charbon en z_2 , d'air en z_3 , et dont les gaz s'échappent par la cheminée z après avoir liché les parois du pot en acier W. K, piston déplaceur. A piston moteur relié aux manivelles B B par des bielles $A_2 A_2$. K', tige du piston déplaceur commandée par le balancier XV de manière qu'il se rapproche puis s'éloigne alternativement du piston moteur. U enveloppe d'eau refroidissant l'avant du cylindre. L'extérieur de cette enveloppe communique avec l'avant et l'arrière W du cylindre par une série de canaux et d'orifices tels que V, de manière que l'air chaud refoulé de W vers l'avant du cylindre, au retour du déplaceur, n'y pénètre, par les trous V, qu'après s'être refroidi au léchage des parois de U, tandis que l'air froid refoulé de l'avant à l'arrière du cylindre, lors de la marche en avant du déplaceur, reprend aux parois de U, qu'il parcourt en sens inverse, de V en W, la chaleur que leur a précédemment cédée l'air chaud.

Le diagramme fig. 6 a été relevé sur une machine d'un cheval ayant un piston de 107 m/m de course sur 377 m/m de diamètre. Ce diagramme indique une puissance de 2 chevaux 37 à 106 tours par minute, entre des températures de 823 et de 273° . La machine faisait 1 cheval 31 au frein, ce qui donne, pour le rendement orga-

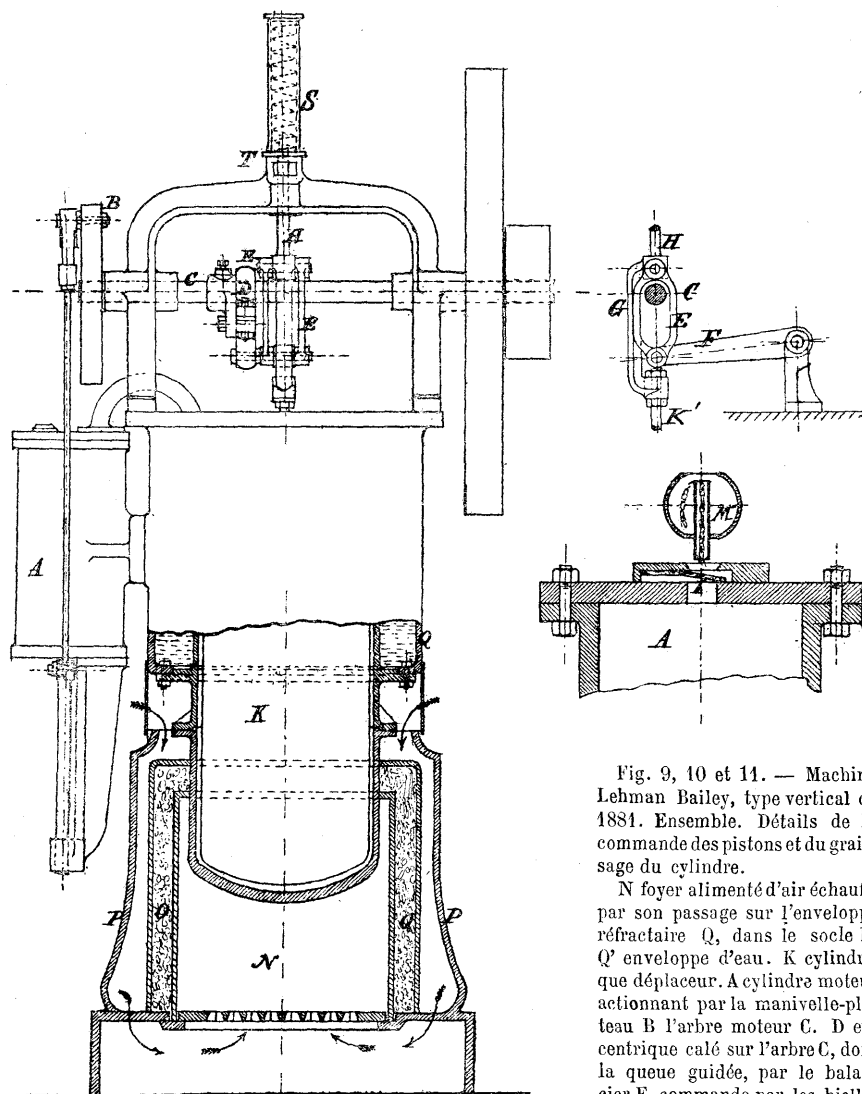


Fig. 9, 10 et 11. — Machine Lehman Bailey, type vertical de 1881. Ensemble. Détails de la commande des pistons et du graissage du cylindre.

N foyer alimenté d'air échauffé par son passage sur l'enveloppe réfractaire Q, dans le socle P. Q' enveloppe d'eau. K cylindrique déplaceur. A cylindre moteur actionnant par la manivelle-platneau B l'arbre moteur C. D excentrique calé sur l'arbre C, dont la queue guidée, par le balancier F, commande par les bielles

ouvertes EE la tige K'GH du piston déplaceur. Cette tige, guidée en T, est constamment poussée par un ressort S qui régularise le travail des bielles EE.

nique, le chiffre bien bas de 0 55. Dépense de charbon 4 kil. 50 par heure; dépense d'eau 130 litres pour le refroidissement du cylindre; poids de la machine

1000 kilogrammes environ. Ces machines sont assez employées en Angleterre et en Allemagne (1) jusqu'à des forces de 5 chevaux.

Ainsi qu'on le voit sur les figures 7 et 8 qui représentent une variante du type précédent, le piston moteur A_1 est relié par deux bielles A_2 aux manivelles parallèles B , dont la longue portée attaque la tige K du piston déplaceur par le renvoi VX .

Dans cette machine, le foyer n'a plus de grille et s'alimente comme un gazogène par la cheminée de chargement z_1 , au travers de la porte z_2 , l'air nécessaire à la combustion arrive par z_3 , et les gaz brûlés s'échappent après avoir léché toute la surface du pot en acier W . Le registre de la cheminée z est manœuvré automatiquement en fonction de la température de l'air par un thermostat.

Le type vertical représenté par la figure 9, a son cylindre moteur A renversé.

La tige K' du déplaceur est conduite (fig. 10) par l'excentrique D et les biellettes E , à fourches traversées par l'arbre moteur C . L'air arrive au foyer après s'être réchauffé au contact de son enveloppe calorifuge O . Le graissage du cylindre s'opère au moyen d'une mèche M (fig 11) dont l'huile y tombe goutte à goutte au travers du clapet L , lorsqu'il s'ouvre, au retour du piston, pendant que le refroidissement de l'air y détermine un vide partiel. Ce graissage, très simple et très efficace, fait que le cylindre s'use très peu, même avec des garnitures métalliques.

Machine Rider (cycle fermé) (2)

La machine de Rider, construite en Angleterre par la maison Hayward Tyler, de Londres, est l'une des plus répandues pour les petites forces.

Son fonctionnement est le suivant :

Le piston compresseur C (fig. 12) conjugué au piston moteur G par des manivelles à 95° , comprime l'air au $\frac{1}{3}$ environ de son volume primitif, et l'envoi, par le régénérateur H , sous le piston moteur, alors au fond de course et presque immobile, où il s'échauffe presque à volume constant puis, se dilate en effectuant son travail. Au retour du piston moteur, l'air chaud est refoulé, au travers du régénérateur, au-dessous du piston compresseur, où il achève de se refroidir par la circulation d'eau E .

Cette circulation est activée par la pompe U , que fait mouvoir le moteur, et dont le détail est représenté par la figure 13. On comprendra facilement le jeu des

1. *Slaby*. — Verhandlungen des Vereins zur Beforderung des Gewerbflusses, décembre 1878 et *G. Schmidt*, Dingers polytechnische Journal, vol. cl. part. VI, 1861.

2. Brevet français 112895 de 1875; brevets anglais 3404 de 1875, 10034 de 1886, 4692 de 1887, *Haton de la Goupillière*. — Cours de Machines, vol. 2, p. 646; *The Engineer*, 21 janvier 1887, 10 août 1888; *Revue industrielle*, 17 mar 1888.

quatre clapets-boules en caoutchouc *a, b, c, d*, aspirant l'eau par Y. et la refoulant par X autour de E puis au réservoir alimenté par la pompe.

Les garnitures des pistons sont formées de cuirs graissés K, suffisamment à l'abri de la chaleur.

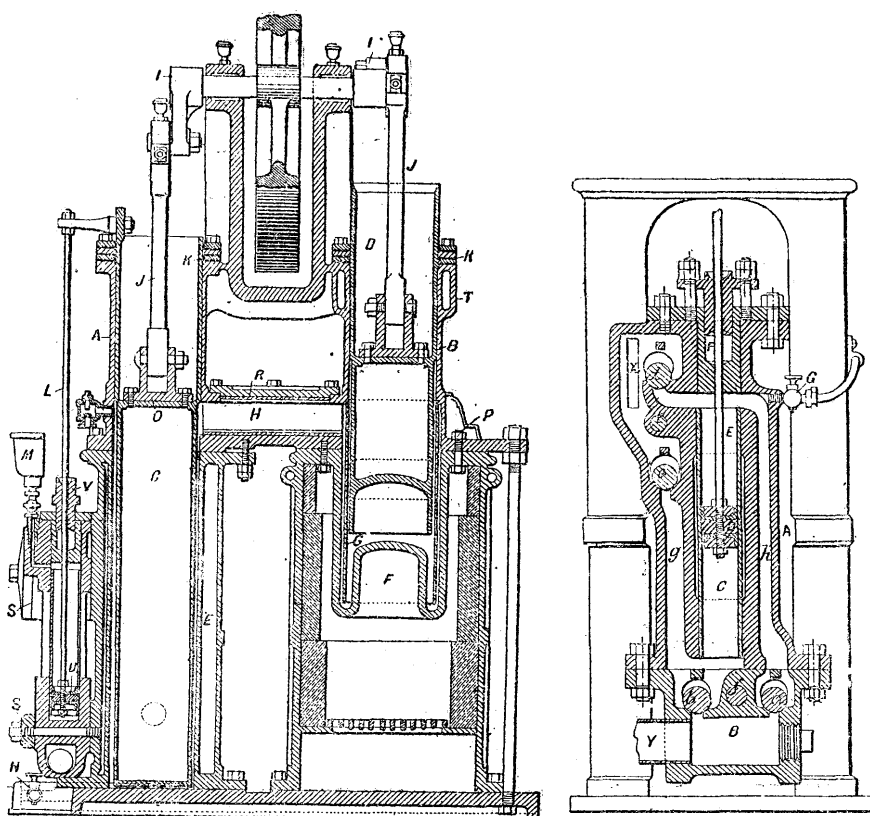


Fig. 12 et 13. — Moteur Rider à foyer fixe et actionnant une pompe. Ensemble du moteur et détail de la pompe à une échelle double.

C piston compresseur ou déplaceur actionnant par la tige L la pompe U et relié au piston moteur C par les bielles JJ et les manivelles II calées à 95°. A et B cylindres déplaceurs et moteur, dont la partie supérieure, seule alésée et froide, guide par des garnitures en cuirs gras K le haut des pistons C et D, dont le bas, d'un diamètre plus petit, ménage entre leurs parois et celles de leurs cylindres les passages annulaires nécessaires pour assurer l'activité thermique de la circulation de l'air. La partie inférieure du cylindre moteur est pourvue d'un écran métallique G, facile à remplacer, comme le pot F, dont il oblige l'air à parcourir la surface entière. H régénérateur à regard R, faisant communiquer les cylindres A et B. N robinet ou reniflard permettant de réparer les fuites d'air.

D piston de la pompe de circulation d'eau mobile, dans une gaine en bronze C. Y B *a b* tuyau, chapelle et clapets d'aspiration. Une très faible partie de l'eau refoulée par *g h*, les clapets *c d* et le tuyau X, circule en E puis (fig. 12) en T autour, des cylindres déplaceur et moteur, d'où elle revient indéfiniment au réservoir alimenté par la pompe. M, coupe d'amorçage. S (fig. 12) et F (fig. 13) boulons fixant la pompe au moteur.

Un reniflard R laisse l'air pénétrer dans la pompe de compression dès que la pression y tombe, par les fuites, au-dessous de la pression atmosphérique.

Le régénérateur est constitué par une série de plaques de fonte d'un millimètre environ d'épaisseur, de très grande surface, et peu résistante au passage de l'air.

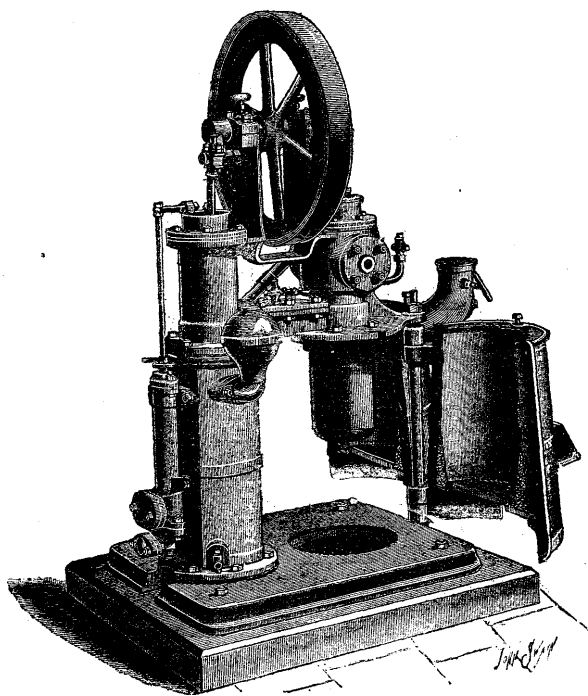


Fig. 14. — Moteur Rider à foyer mobile indépendant.

Le foyer est représenté ouvert pour l'examen. On voit à gauche la pompe précédemment décrite figure 13.

L'un des types les plus fréquemment employés, de la force d'un cheval, a des pistons égaux, de 62 millimètres de diamètre et de 150 millimètres de course, et fait 120 tours par minute. Ces machines sont fréquemment employées, aux Etats-Unis surtout, pour le service des pompes domestiques.

La disposition représentée par la figure 14 permet de réparer très facilement le foyer divisé en deux parties mobiles autour d'une charnière et, de plus, supporté isolément de manière à laisser au cylindre moteur toute liberté d'obéir à ses dilata-tions.

Dans le dispositif représenté par la figure 15, les portes H et F permettent

d'enlever facilement les parties A et B du cylindre moteur, que le déflecteur I protège un peu des atteintes directes de la flamme.

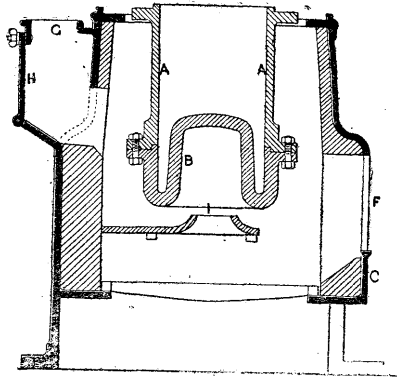


Fig. 15. Moteur Rider à pot mobile, type de 1887. — A B, pot en deux pièces, protégé de la grille par le déflecteur I. C, foyer pourvu de portes de manutentions H et F.

Moteur Soderstrom (cycle ouvert) ⁽¹⁾

La petite machine de M. Soderstrom représentée par les figures 16 à 24 est très remarquable par sa simplicité ; l'entretien du feu est des plus faciles, et l'on n'a pas besoin d'eau de circulation pour refroidir le cylindre.

L'air, qui, par sa dilatation, fait marcher la machine, est constamment renouvelé et il entre pendant le mouvement ascensionnel du piston moteur *a*, à la partie inférieure du cylindre *b* dans l'espace qui existe autour du fourreau *c*. Pour y pénétrer, l'air passe d'abord par le clapet inférieur de la boîte *d*, boulonnée sur le côté du cylindre et passe ensuite par le canal *e*, fig. 22.

Pendant que le piston moteur descend, l'air, qui vient d'être aspiré dans le cylindre, est comprimé et refoulé dans le réservoir annulaire *f*.

Pour aller dans ce réservoir, l'air retourne d'abord par le canal *e*, passe ensuite par le clapet supérieur de la boîte *d*, et enfin par le canal *g*.

Du réservoir *f*, l'air comprimé est distribué à la partie supérieure du cylindre par le petit piston *h*, lequel, pendant que le piston moteur *a* descend du point mort supérieur jusque environ à la moitié de la course, prend la position au-dessous du canal *i*, fig. 20, pour laisser l'air entrer à pleine pression.

1. Brevet français 116168, 21 décembre 1876.

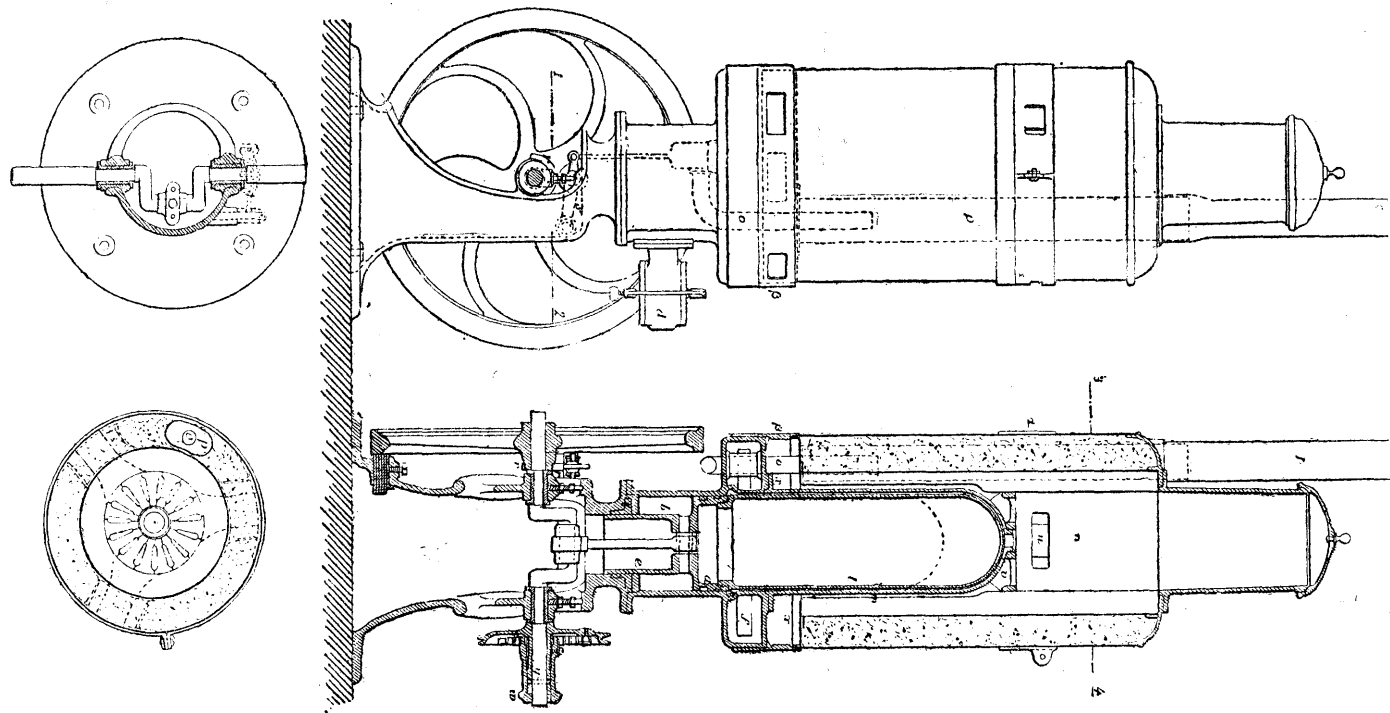


Fig. 16 à 19. — Moteur Soderstrom, type de 1876. Elevation. Coupe verticale. Coupes horizontales 1-2 et 3-4.

r came actionnant par *s* le piston distributeur *h* (fig. 20 à 24). *b* pompe d'aspiration et de refoulement. *f* chambre de refoulement. *a l* long piston moteur, dont la partie *a* fonctionne dans l'alsage de *b*. *m* cylindre moteur, où *l* fonctionne avec le jeu nécessaire à la circulation de l'air, et surmonté par la grille *v*. *n* foyer à tirage activé par l'échappement *o* de l'air dans sa cheminée *p*, et réglé par les registres circulaires *a β*. *y w*, régulateur à ressort et frottement.

L'air comprimé venant du réservoir *f*, après avoir passé par le canal *i*, va d'abord entourer le piston moteur en suivant la gorge annulaire *k*, fig. 17, 20, 21 ; il monte ensuite de tous les côtés, entre le prolongement *l* du piston moteur et le prolongement *m* du cylindre.

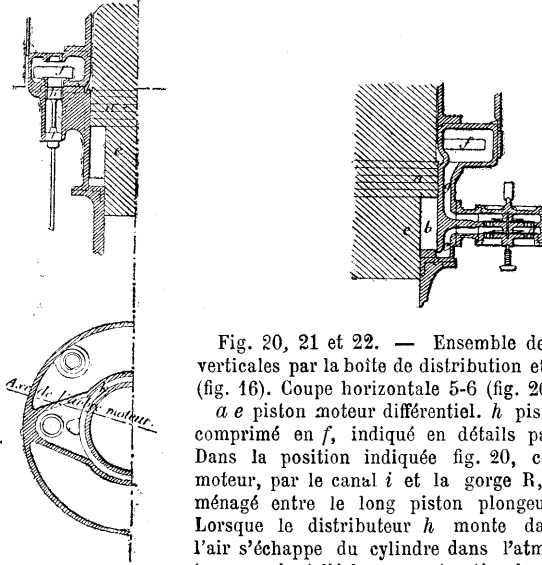


Fig. 20, 21 et 22. — Ensemble de la distribution. Coupes verticales par la boîte de distribution et par la boîte à clapets *d*, (fig. 16). Coupe horizontale 5-6 (fig. 20).

a *e* piston moteur différentiel. *h* piston distributeur de l'air comprimé en *f*, indiqué en détails par les figures 23 et 24. Dans la position indiquée fig. 20, cet air passe au cylindre moteur, par le canal *i* et la gorge *R*, dans l'espace annulaire ménagé entre le long piston plongeur *l* et le cylindre *m*. Lorsque le distributeur *h* monte dans la position fig. 24, l'air s'échappe du cylindre dans l'atmosphère par *k* *i* et le tuyau *o*, dont l'échappement active le tirage du foyer.

b pompe d'aspiration et de refoulement, se remplissant, lorsque le piston *a* monte, d'air aspiré par *d* et *e*, puis le refoulant en *f* par *e* *d* *g*.

En montant, il se chauffe et se dilate au fur et à mesure qu'il arrive au bout du cylindre, qui est chauffé extérieurement par le foyer à charbon *n*.

Quand le piston moteur *a* est descendu environ à la moitié de la course, le piston distributeur monte un peu et se place devant le canal *i*.

De ce moment l'air enfermé au-dessus du piston moteur travaille par détente usqu'au bout de la course.

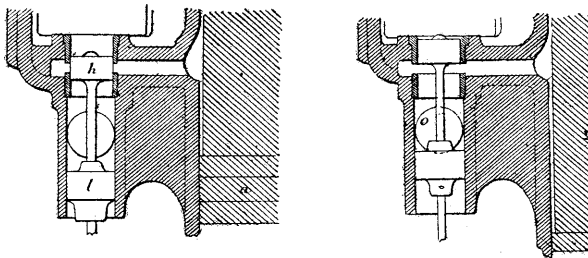


Fig. 23 et 24. — Détail du piston distributeur *h* et de son guide *l*. En fig. 23, position neutre, le piston *h* ferme toute communication au cylindre moteur ; en fig. 24 il ouvre ce cylindre à l'échappement *o*.

Un peu avant que le piston moteur soit arrivé au point mort inférieur, le piston distributeur *h* prend la position, fig. 24, au-dessus du canal *i*, pour laisser l'air détendu sortir dans l'atmosphère.

Pendant que le piston moteur remonte, l'air, en s'échappant du bout supérieur du cylindre, retourne par le même chemin en sens inverse; il se refroidit entre les prolongements *l*, *m*, qui servent de régénérateurs, en leur transmettant sa chaleur, et arrive relativement peu chaud au canal *i*.

De ce canal l'air passe par le tuyau d'échappement *o*, fig. 16 et 24, qui débouche dans la cheminée *p* pour activer le tirage.

Pendant que le piston moteur redescend, un nouveau volume d'air comprimé est distribué à la partie supérieure du cylindre pour agir comme il vient d'être décrit, et ainsi de suite.

Par la dilatation de l'air comprimé, l'excès de travail que cet air exerce au-dessus du piston moteur est transmis au vilebrequin.

Les différentes positions du piston distributeur *h*, relativement au piston moteur *a*, sont réglées par une came *r*, montée sur le moyeu du volant, lequel est calé sur l'arbre moteur; cette came agit sur le piston distributeur au moyen d'un levier *s*, fig. 16 et 17, d'un galet et d'une tige.

Un coulisseau *t* guide le piston distributeur *h*.

Le foyer *n* est placé au-dessus du cylindre *b*.

Les charbons sont chargés sur la grille en tas, jusqu'au-dessous du couvercle; le feu est allumé en bas; l'air pour la combustion entre par quelques trous *u*, fig. 17 et 19, ménagés sur les côtés du foyer, un peu au-dessous de la grille.

Les gaz chauds provenant de la combustion descendent par la grille *v*, construit en matière réfractaire, chauffent le prolongement *m* du cylindre *b* de tous les côtés, et arrivent dans le canal annulaire *x*, d'où il montent dans la cheminée *p* disposée à côté du foyer.

Le foyer et son prolongement vers le bas sont formés par un tube de terre réfractaire, lequel est entouré par une matière peu conductrice de la chaleur, telles que des cendres, du plâtre, etc.

La vitesse de la machine est réglée de la manière suivante :

La poulie motrice montée sur l'arbre moteur est libre; elle porte au bout droit du moyeu deux plans inclinés en hélice l'un en face de l'autre; ces deux plans portent sur deux plans correspondants ménagés au bout de la douille *y*, fixée sur l'arbre moteur.

La poulie motrice est entraînée et serrée en avant par un ressort en spirale, de sorte que la poulie, en butant contre le côté du coussinet, tire l'arbre moteur dans la direction horizontale à main droite et vient forcer le bas du volant contre les morceaux de cuir *z*, lesquels ainsi servent de frein.

Il y a assez de jeu dans les coussinets sur la longueur.

Le pas ou l'inclinaison des plans en hélice et le serrage du ressort en spirale sont modérés de telle manière que l'arbre moteur marche à la vitesse voulue quand la machine marche toute seule sans transmission. Si maintenant la corde ou la courroie de transmission fait résistance au mouvement, alors la poulie se desserre, l'arbre et le volant deviennent libres, et toute la force de la machine est appliquée à la transmission. Quand la résistance par la transmission diminue un peu, alors le frein agit un peu dans la même proportion, de sorte que la vitesse n'augmente pas. Outre la simplicité, cette disposition a l'avantage d'agir instantanément.

Pour pouvoir serrer le ressort plus ou moins, selon la force de la machine et la vitesse que l'on veut obtenir, ainsi que pour le desserrer tout à fait au moment de

la mise en marche, ce ressort est fixé sur une douille w , laquelle, par un ergot qui s'engage dans un rochet ménagé à l'autre bout de la douille fixe y , est variable à la main.

Le bâti qui supporte le cylindre et le foyer est formé par une colonne creuse entaillée sur un côté pour le montage de l'arbre moteur.

La vivacité de la combustion est réglée par une bande circulaire α trouée et montée devant les couvertures d'entrée de l'air.

En tournant la bande, on ferme simultanément plus ou moins toutes les ouvertures.

Une autre bande trouée β est montée devant les ouvertures du canal annulaire x , pour pouvoir enlever les cendres.

La figure 23 montre la disposition d'une petite machine marchant par une flamme de gaz.

La seule différence entre cette machine et celle que je viens de décrire, c'est que le prolongement du cylindre, au lieu d'être chauffé par un foyer à charbons, y est chauffé par une flamme qui descend d'un bec u , en entourant ce prolongement pour remonter ensuite par la cheminée.

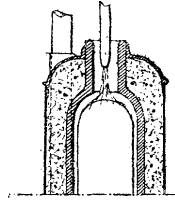


Fig. 23.— Principe du moteur à gaz Soderstrom.

Machine Hock (Mixte) ^(a) cycle ouvert ⁽¹⁾.

Le fonctionnement de ce moteur est très simple (fig. 24 à 28).

L'air aspiré en P, par le piston M de la pompe à air, est refoulé par α dans le tuyau R, qui l'envoie partie directement au cylindre moteur par s T T' z , et partie au-dessus de la grille B par U. u . Le régulateur agit en faisant varier par le jeu des vannes U T la proportion de l'air admis directement au cylindre et au-dessus du foyer, au travers du réchauffeur H. Une soupape d'admission spéciale B (fig. 27) règle l'admission de l'air du foyer au cylindre moteur. Cette soupape amène l'air du foyer A f_2 au cylindre principal par f' , au travers de la soupape Z: elle est en partie équilibrée par le piston P qui reçoit au-dessous, par g' , la pression de l'air au cylindre moteur.

Ces machines, assez répandues pour les petites forces : 1 à 6 chevaux, consommant environ 4 kilogrammes de coke par cheval effectif.

1. Brevet français 113870 de 1876, et addition de 1879.

(a) Cette machine est, en réalité, à *foyer fermé*, mais une partie seulement de l'air traverse le foyer.

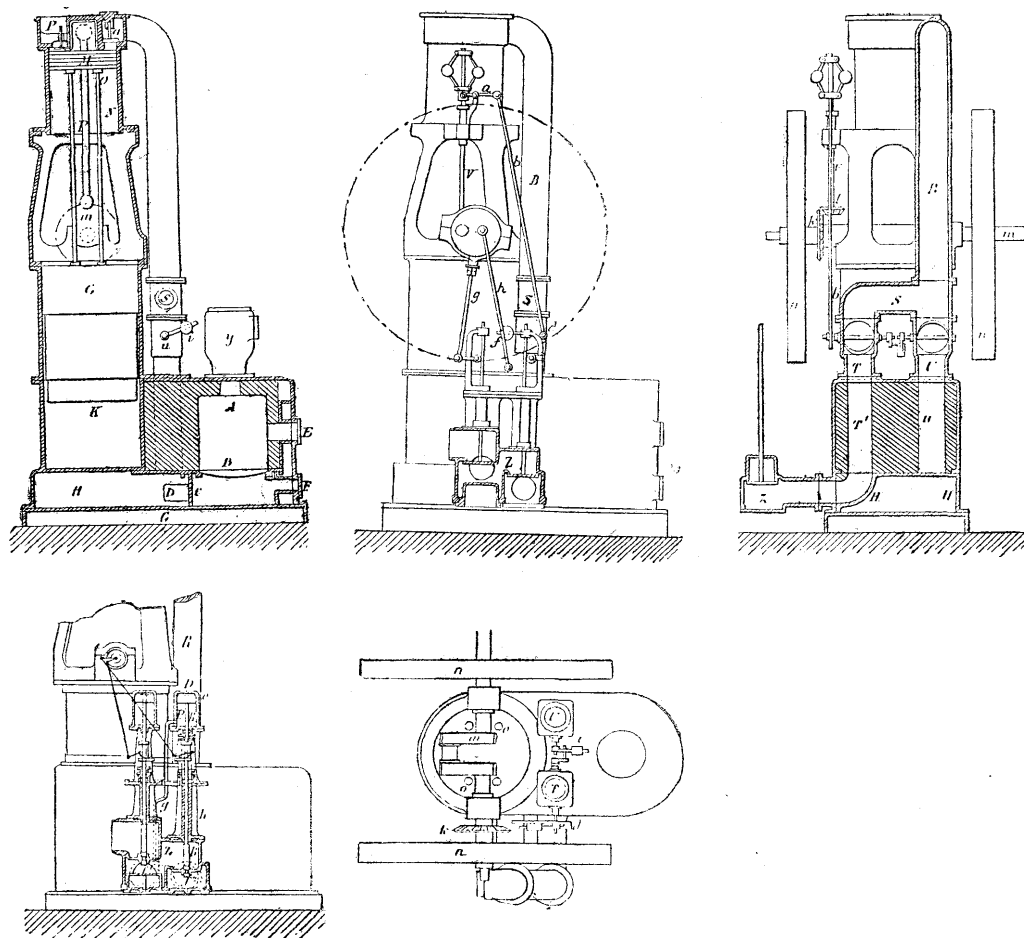


Fig. 24 à 28, moteur *Hock* de 1879. — Coupe verticale par le foyer. Elévation et plan. Coupe verticale par la soupape *z*. Détail de la distribution.

1. N, pompe dont le piston par M, relié au piston moteur G par les tiges *o*, aspire l'air sans l'atmosphère par P et le refoule par R au jeu de vannes T et U, lesquelles le répartissent en partie au foyer A, par U et le rechauffeur H, en partie au cylindre moteur par la soupape Z. — *k*, pignon actionnant le régulateur *a*, dont la tige *b* commande les vannes U T par *d* et le levier à poids *c*.

B, soupape admettant au cylindre moteur K, par *f'* et la soupape *z*, l'air qui lui vient du foyer par *f*. — Ces soupapes, commandées par les tiges d'excentrique *h* et *g*, sont équilibrées par la poussée de l'air comprimé en *z* et admis par des tuyaux *g'* sous les contre-pistons P de ces soupapes.

y trémie de chargement autoclave du foyer.

Machine Paul Giffard (cycle ouvert).

Le fonctionnement de la machine de M. Paul Giffard est le suivant.

L'air aspiré par la pompe A, au travers de la garniture spéciale de son piston P' est refoulé au travers de la soupape *i* dans le serpentin *t.t.*, chauffé, par la flamme du foyer, et passe de là, par la soupape d'admission *s*₂ (fig. 31) dans le cylindre moteur *m.m'*, d'où il s'échappe, à la descente du piston P, par la soupape *s'* et le tuyau *u*.

Le cylindre moteur est en deux parties *m.m'*. La partie alésée *m* est rafraîchie par un bain d'eau *b*; la partie brute *m'* est seule soumise à l'action des flammes qui s'échappent par *c'*. La garniture du piston moteur, très long et non conducteur, est formée d'un simple cuir pressé par un ressort (fig. 34).

L'enveloppe du foyer est percée d'une porte de chargement *p*, et de nombreuses

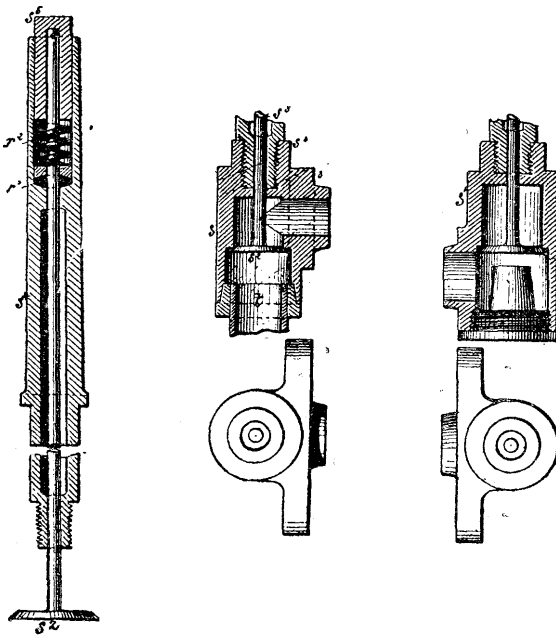


Fig. 31 à 33.— *Giffard*. Détail des sièges et de la commande des soupapes d'admission et d'échappement.— (Echelle $\frac{1}{2}$), *s*₂ soupape d'échappement *s*₂ soupape d'admission faisant passer, lorsque *s* s'abaisse, l'air comprimé du serpentin *t* du foyer au cylindre moteur. Les sièges sont tournés dans une pièce de fer ou de fonte *s* pourvue d'une filetage *s*₄, pour recevoir le long fourneau *s*₃ qui guide la tige des soupapes par le bloc-piston *s*₅ à ressort *r*₂ qui reçoit la poussée de la canne de commande de la soupape (*s*⁶ ou *s*⁸, fig. 29). *r*₂ ressort rappelant la soupape et comprimant le caoutchouc *r'*.

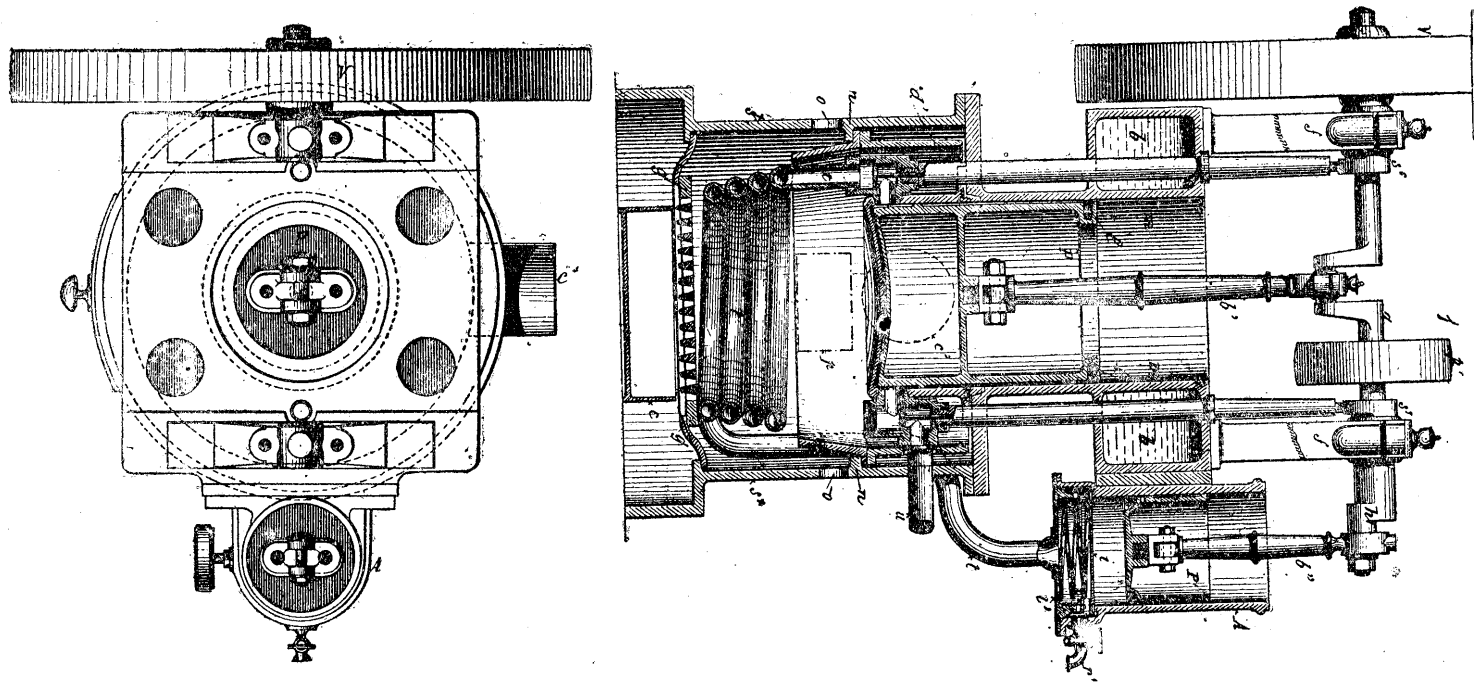


Fig. 29 et 30, machine *Giffard* de 25 kilogrammes type de 1881. — (Echelle $\frac{1}{5}$) Coupe verticale et plan.

S socle en fonte pourvu d'un cendrier *c*, portant la grille *g*, l'écran *d* en *n*, puis le cylindre moteur *m* et son pot *m'*, ainsi que l'enveloppe d'eau *b*, venue de fonte avec *m*. — *p* porte de chargement du combustible. *c'* cheminée. *o* bouches de chauffage et de tirage. *t* serpentin recevant l'air refoulé par la pompe *A*, l'échauffant au foyer, puis l'admettant au cylindre moteur par la soupape *s*. — *p* long piston moteur à garniture emboutie *l*. — fig. 34 — A pompe à air, dont la manivelle *h* est à 45° environ de *a*. — L'air aspiré au travers de la garniture *P'* est refoulé dans le serpentin *t* par une soupape unique *i*, formée d'un disque appuyé sur son siège en caoutchouc par un ressort *i'*, et que le piston *P'* vient toucher de manière à presque supprimer l'espace nuisible.

ouvertures *o.o'*, qui fournissent en temps ordinaire tout l'air nécessaire à la combustion. Quand il fait froid, on ouvre en partie le cendrier *c*, qui amène alors à la grille *g* un excès d'air dont une partie traverse la grille tandis que le reste s'échappe le long des parois du foyer par les trous *o*, et sert à chauffer d'une façon plus ou moins hygiénique la salle où se trouve la machine.

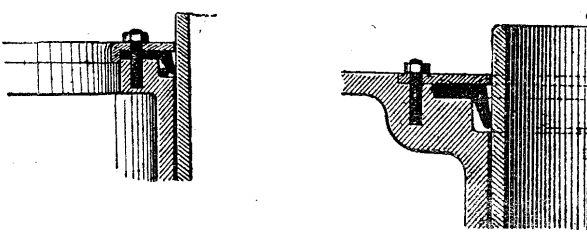


Fig. 34. — *Giffard*. — Garniture de piston formée d'un cuir embouti pressée par un fil d'acier.

Fig. 35. — Garniture de plongeur en cuir embouti.

Les tiges des soupapes d'admission et d'échappement sont guidées (fig. 31) dans de long fourreaux, et constamment rappelées sur leurs tiges par des ressorts *r'* : les soupapes sont manœuvrées par des cames *s'' s''* appuyant sur le haut des tiges *s''* (fig. 29).

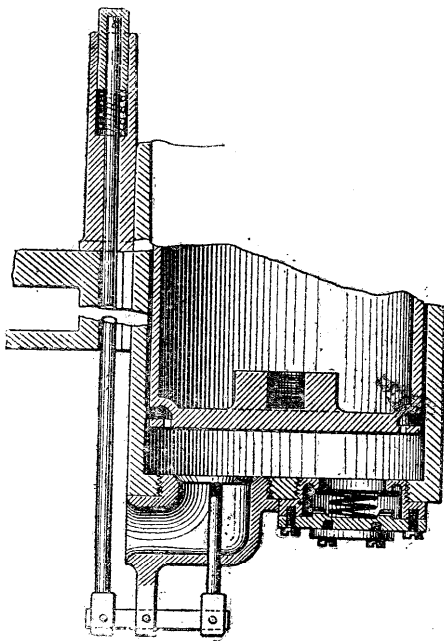


Fig. 36. — *Giffard*. — Variante de la pompe à air, avec soupape de refoulement analogue à celle de la pompe A fig. 29, et soupape d'aspiration desmodromique.

La soupape de refoulement *i* de la pompe à air est constitué par un disque unique battant sur un siège à garniture de caoutchouc; le piston la touche à fond de course, sans espace nuisible. Il suffit, pour arrêter la machine, de supprimer le refoulement de l'air au foyer en ouvrant le robinet *r'*.

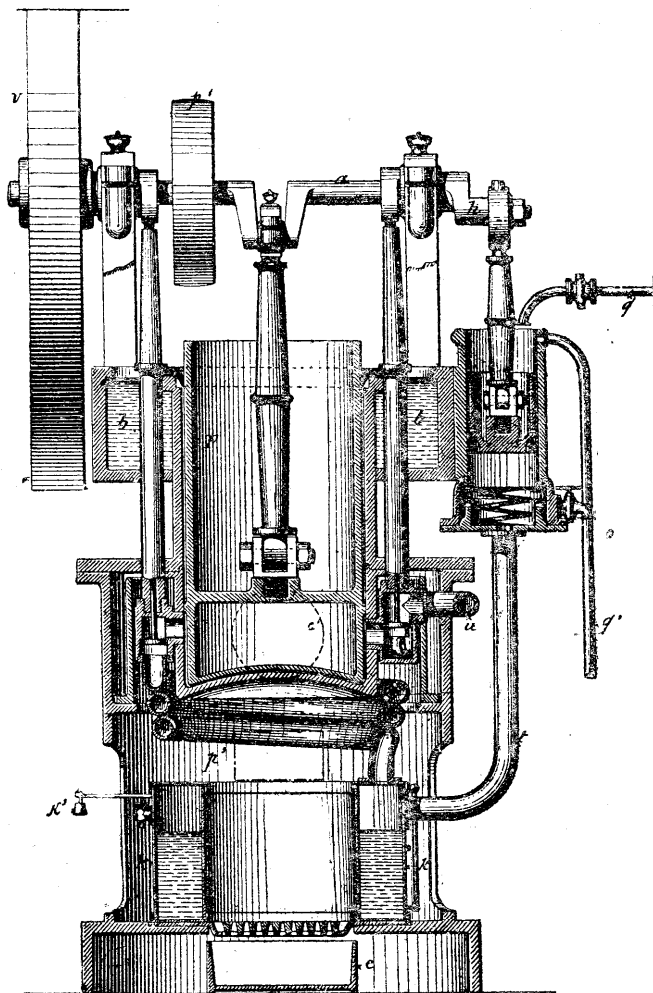


Fig. 37. — *Giffard*. — Moteur à air et vapeur surchauffée.

La pompe à air reçoit en *g* de l'eau, qui, traversant la garniture de son piston, est refoulée avec l'air dans le tube *t*, aboutissant à la chaudière *h*, de manière qu'il passe, de cette chaudière au cylindre moteur, par le serpentin *p'*, un mélange d'air et de vapeur plus ou moins surchauffée. — On peut, comme pour la machine précédente, envoyer l'échappement directement dans l'atmosphère ou en partie sous la gille.

La figure 29 représente une variante de ce moteur disposée pour marcher avec un mélange d'air et de vapeur, son fonctionnement s'explique par la légende seule; et cette combinaison, souvent essayée sans succès n'a rien qui puisse la recommander sérieusement.

Machine Mac-Kinley (cycle fermé) ⁽¹⁾

Ce moteur est remarquable par l'ingénieuse disposition de son piston déplaceur.

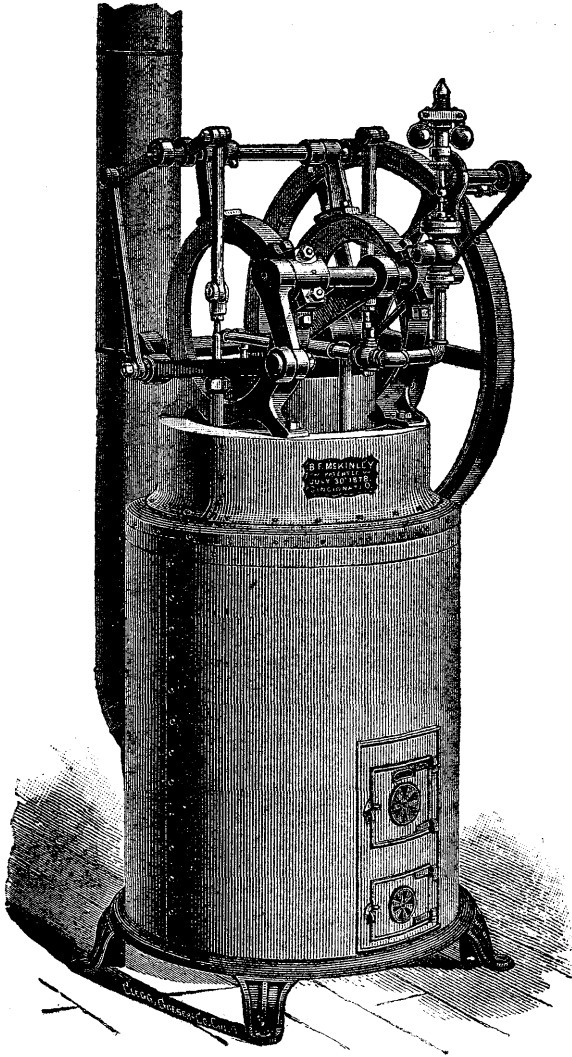


Fig. 36. — Ensemble du moteur Mac Kinley.

Ce piston est constitué (fig. 37) par une paroi non conductrice E, pourvue de quatre cylindres en tôle, deux en haut et deux en bas, qui montent et descendent entre les couronnes annulaires constituées par les fonds A et A'.

1. Brevet anglais 807 de 1887; American Machinist, 5 juin 1886.

Le régénérateur est en F, le piston moteur en D, le foyer en J.

L'air qui alimente la combustion du foyer entre suivant, les flèches, par le haut de la machine, autour du cylindre moteur B, puis arrive sous la grille par les trous *d*, après s'être échauffé sur les replis du fond supérieur A, où il est conduit par les parois du plateau N, et, en A'', autour du régénérateur. Les gaz

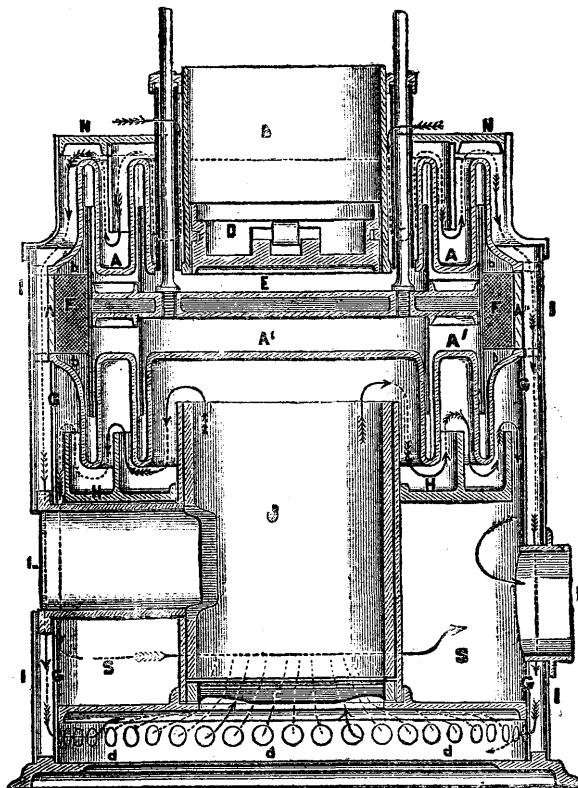


Fig. 37. — Moteur *Mac Kinley*. — Coupe verticale diamétrale. — E, piston déplaceur pourvu de deux demi-cylindres en tôles s'emboîtant entre les couronnes A A' des fonds du cylindre déplaceur. F F, régénérateurs en toiles métalliques. H N, fonds pourvus de couronnes s'emboîtant dans celles de A A'. D, piston moteur relié au déplaceur par un jeu de bielles indiqué en fig. 36. J, foyer dont les gaz sortent par S M après avoir circulé en H et chauffé le fond A'. L'air qui alimente ce foyer pénètre du haut de la machine sous la grille par les trous *d*, après s'être échauffé au contact du plateau supérieur A et de la paroi extérieure A'' du régénérateur. L, porte de chargement du foyer.

brûlés s'échappent du foyer par S M, après avoir lèché suivant H H, et fortement chauffé, le fond inférieur A'.

A la montée du déplaceur E, l'air froid qui se trouve au-dessus de E descend au travers du régénérateur F en A', où il s'échauffe rapidement, augmente de

pression, et soulève le piston D. A la descente du déplaceur, l'air chaud passe de A' sur E, en se refroidissant au travers du régénérateur F et sur le fond supérieur A. Sa pression diminue, et le piston D accomplit sa course descendante.

Machine Woodbury (cycle fermé) ⁽¹⁾

La machine de MM. Woodbury, Merrill et Pattern est l'une de celles qui ont le plus vivement attiré l'attention dans ces dernières années, principalement aux Etats-Unis.

Nous en donnons la description détaillée d'après le brevet français de 1880, pris au nom de M. Moehring.

La machine qui fait l'objet de la présente invention appartient à la catégorie des moteurs à air chaud, dans lesquels un certain volume d'air d'une très haute tension est alternativement chauffé et refroidi. à l'aide d'un ou plusieurs renverseurs qui forcent l'air à se rapprocher alternativement de la surface de chauffe et de la surface de refroidissement, de sorte que l'air, dans le premier cas, se dilate proportionnellement à l'échauffement, et dans le second cas, se contracte proportionnellement au refroidissement.

La machine est munie d'un ou plusieurs cylindres moteurs, à simple effet ou à double effet, séparés des cylindres renverseurs, et munis de pistons sur lesquels la dilatation et la contraction du volume d'air renfermé dans la machine exercent leur action.

La machine est destinée à travailler à une très haute tension initiale de l'air.

Au moyen d'une pompe à air, on fait entrer de l'air jusqu'à ce que celui-ci ait acquis la tension initiale requise.

Foyer. — Le prolongement de l'enveloppe des foyers A, A' forme (fig. 41 et 43) les chambres de combustion F, dont les enveloppes servent en même temps de support aux cylindres moteurs D, D'.

La communication entre la boîte à feu et la chambre de combustion est formée par le carneau E', dans lequel se trouve également le pont de chauffe E.

Le tuyau F' conduit les gaz de la combustion à la cheminée.

Cylindres moteurs. — Les cylindres moteurs D, D' (fig. 40 et 43), etc., sont munis à leur extrémité inférieure de larges brides *d*, dont la périphérie extérieure correspond aux brides des enveloppes des chambres de combustion, sur lesquelles elles reposent et sont boulonnées.

L'ouverture inférieure de chaque cylindre D, D' est fermée par un fond G, réuni par des boulons à la bride *d*.

Sur ce fond sont attachés un certain nombre de tubes *e* en forme de U, qui descendent dans la chambre de combustion F (fig. 43).

La disposition de ces tubes est représentée figures 49 et 50.

1. Brevet français 137,145, de 1880. — Anglais 8,886 de 1889. — Engineering 13 janvier 1882. — Industrial News, janvier 1882. — Knight Mechanical Dictionary. — Supp.

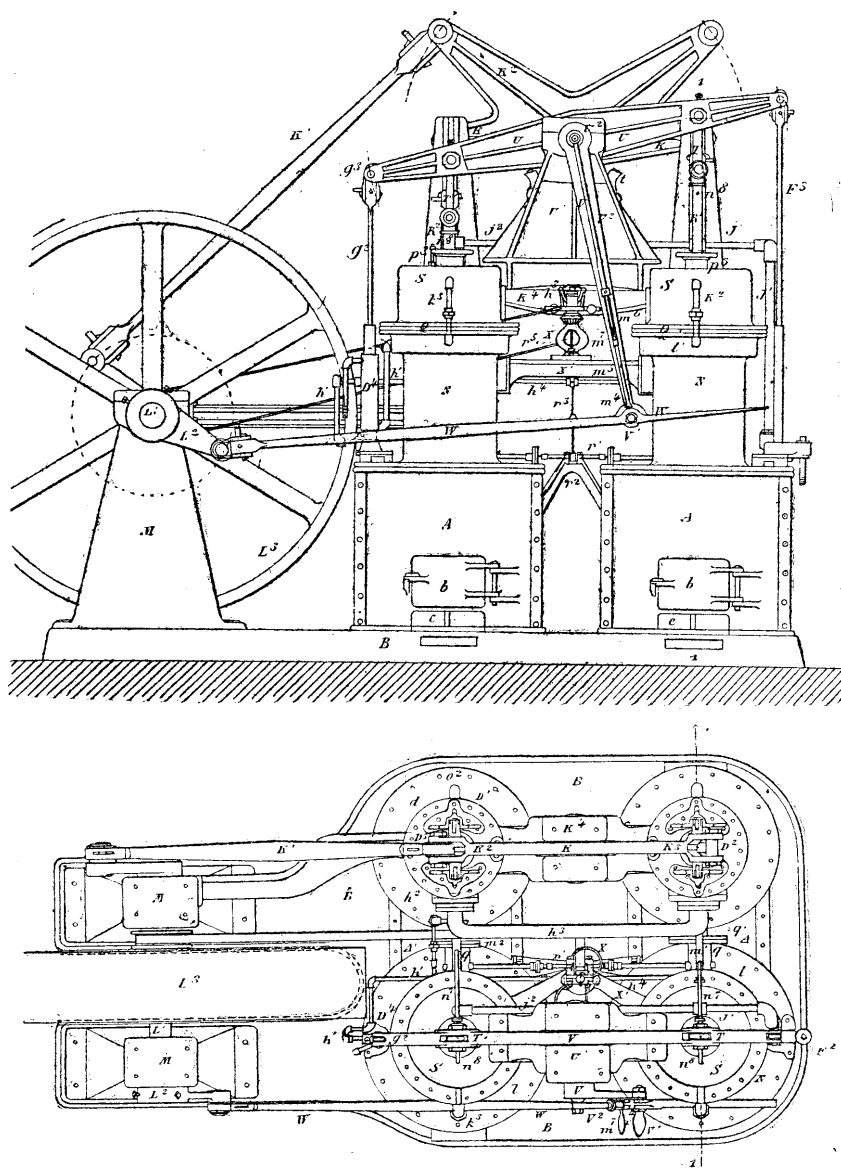


Fig. 38 et 39. — Machine Woodbury. — Elévation et plan. — AA, foyers. NN, cylindres déplaceurs, avec leurs réfrigérants SS, à pistons conjugués par un balancier U, que mènent la manivelle L_2 et la bielle W. V, manivelle permettant de mettre en train, en faisant marcher à la main le balancier U, après avoir déclenché W.

DD', cylindres moteurs actionnant le balancier K, à quatre bras, dont un pour l'équilibrage, un pour la bielle motrice K', et les deux autres articulés aux tiges des pistons moteurs. D₄, pompe à air réparant les fuites au haut des cylindres moteurs et déplaceurs. F₅, pompe de circulation d'eau. X, régulateur agissant par le levier r, (fig. 55), sur le papillon q, (fig. 43). (Pour les autres lettres de la figure, voir le texte.)

Le diamètre de la partie inférieure de chaque cylindre moteur est un peu plus grand que celui de la partie supérieure.

Dans cette partie élargie s'emboîte un deuxième cylindre f , (fig. 57) dont le bord inférieur repose sur le fond du cylindre G, tandis que le bord supérieur est muni d'une bride étroite f' , qui remplit exactement la section élargie du cylindre moteur.

Ce cylindre f n'est pas tout à fait aussi long que la partie élargie du cylindre moteur, de sorte qu'il existe un intervalle g .

Cet intervalle a pour but de permettre au cylindre emboîté de se dilater.

Cependant, afin que le bord inférieur du cylindre emboîté soit maintenu constamment sur le fond G, l'intervalle g est garni de ressorts g' , qui font descendre le cylindre f .

Le cylindre f de chaque cylindre moteur forme avec la partie élargie inférieure de celui-ci un espace annulaire h qui, à l'endroit où se trouve la tubulure q^2 , s'élargit en forme de chambre excentrique, afin de faciliter à l'air qui entre par q^2 l'accès à la partie annulaire, ainsi que le montre la figure 56.

A sa partie inférieure, la chambre h s'élargit vers le dehors en un espace annulaire dans lequel aboutissent les extrémités extérieures des tubes en U e .

Quant aux extrémités intérieures de ces tubes, elles aboutissent à l'intérieur du cylindre emboîté f .

Ce cylindre forme par conséquent une paroi de séparation entre les ouvertures intérieures et extérieures des tubes e , de sorte que l'air qui entre en q^2 est forcé, pour arriver au cylindre moteur, de passer par les tubes e .

Les extrémités supérieures des cylindres moteurs D, D' sont fermées respectivement par des fonds D², D³.

Ces fonds sont munis de boîtes à étoupes par lesquelles passent, à joint fermé les tiges de piston I.

Les extrémités supérieures des tiges de piston sont munies de crosses, guidées par des coulisseaux convenables et reliées chacune à une des extrémités du balancier K, au moyen des bras d'articulation J, comme le montre la figure 43.

Un des bras K² du balancier K (fig. 38 et 40) transmet le mouvement de celui-ci, au moyen de la bielle K', à la manivelle L de l'arbre principal L'; celui-ci repose dans les coussinets M, porte le volant L³, et, à l'une de ses extrémités, porte une deuxième manivelle L².

Le balancier K est muni d'un quatrième bras K³, qui se trouve en face du bras K², dont il est symétrique et qu'il équilibre, et qui peut être utilisé à une transmission quelconque.

Le balancier repose sur le support K⁴, lequel est soutenu par les cylindres D, D', mais qui pourrait aussi bien avoir sa base sur la plaque de fondation B.

Seule la partie supérieure des pistons H, dont un est représenté figure 43, remplit exactement les cylindres, tandis que la partie inférieure a du jeu.

Pistons moteurs. — L'extrémité supérieure des pistons est rendue étanche, par

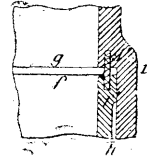


Fig. 57. — Moteur Woodbury. — Détail du joint du cylindre moteur D et de son écran f . g' ressort pressant f sur le fond du cylindre. h , enveloppe que parcourt l'air venant du déplaceur au cylindre moteur — ou vice-versa — au travers des tubes $e e$.

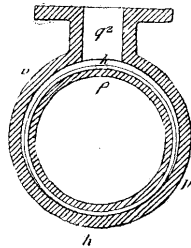


Fig. 56. — Moteur Woodbury. — Coupe horizontale du cylindre moteur D, par son enveloppe h . q^2 communication du cylindre moteur avec le bas du déplaceur.

rapport à la paroi du cylindre, au moyen d'une garniture de cuir double j et des bagues k, k' (fig. 44).

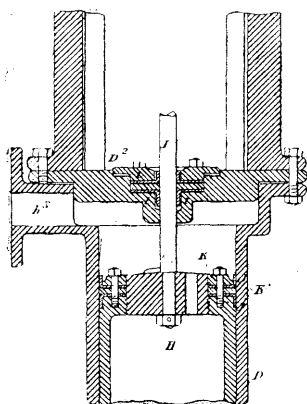


Fig. 44. — Moteur Woodbury. — Garniture du piston moteur et de sa tige — A, piston moteur à garniture de cuirs emboutis K. I, tige de ce piston, à garniture de cuirs emboutis i , serrés en D_2 . h_3 , tuyau faisant communiquer constamment le haut des deux cylindres moteurs D.

Au lieu de cette garniture, on peut employer une garniture métallique ou autre qui atteigne le but.

Chacun des pistons H est fondu en deux pièces, vissées ensemble et formant deux chambres.

Dans la chambre inférieure, la partie r^5 est garnie et remplie de brique réfractaire; la partie supérieure r^6 est remplie d'asbeste, comme on le voit figure 43.

Au lieu de ces matières, on peut employer toute autre matière convenable, non conductrice et réfractaire.

Cylindres déplaceurs. — Les cylindres renverseurs P (fig. 50) sont garnis d'enveloppes N, munies à leur extrémité inférieure de larges brides l , dont la périsphérie extérieure correspond aux brides des enveloppes A des fourneaux, enveloppes qui leur servent de support, et auxquelles ils sont reliés au moyen de boulons.

L'ouverture inférieure de chacun des cylindres renverseurs est fermée par un fond O, boulonné sur la bride l .

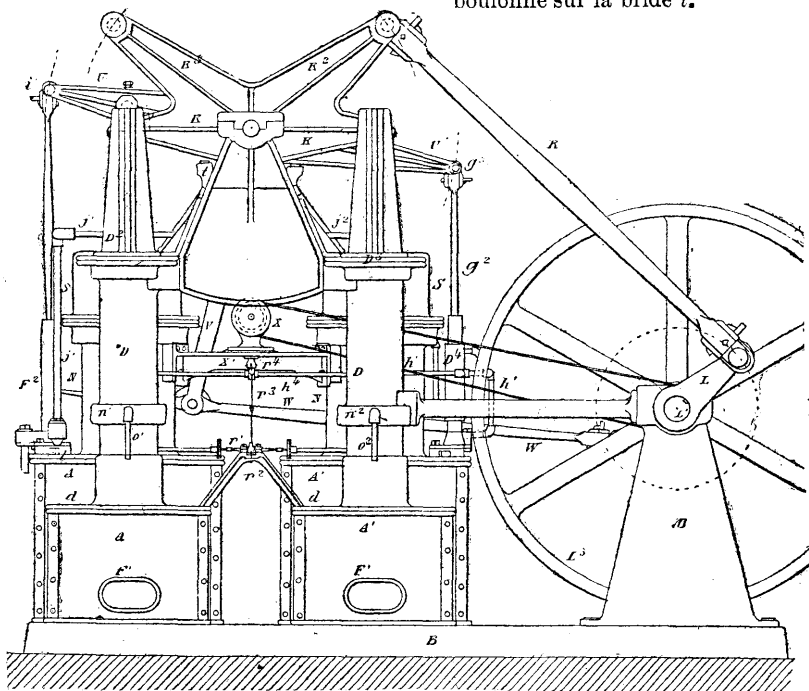


Fig. 40. — Moteur Woodbury. — Elévation vue du côté de la bielle motrice et des cylindres moteurs.

De ces fonds, un certain nombre de tubes en U¹² descendent dans la boîte à feu, directement au-dessus de la grille *a*.

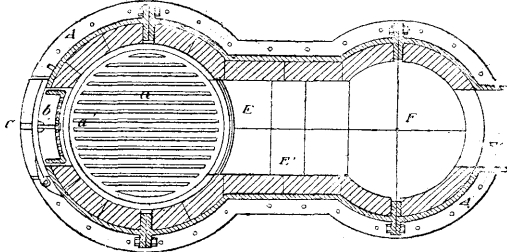


Fig. 41. — Moteur Woodbury. — Coupe du foyer suivant 2-2, fig. 43. — A, socle, C, cendrier, b, porte du cendrier. *a a'*, grille. E, autel. E F, boîte à feu. F', cheminée.

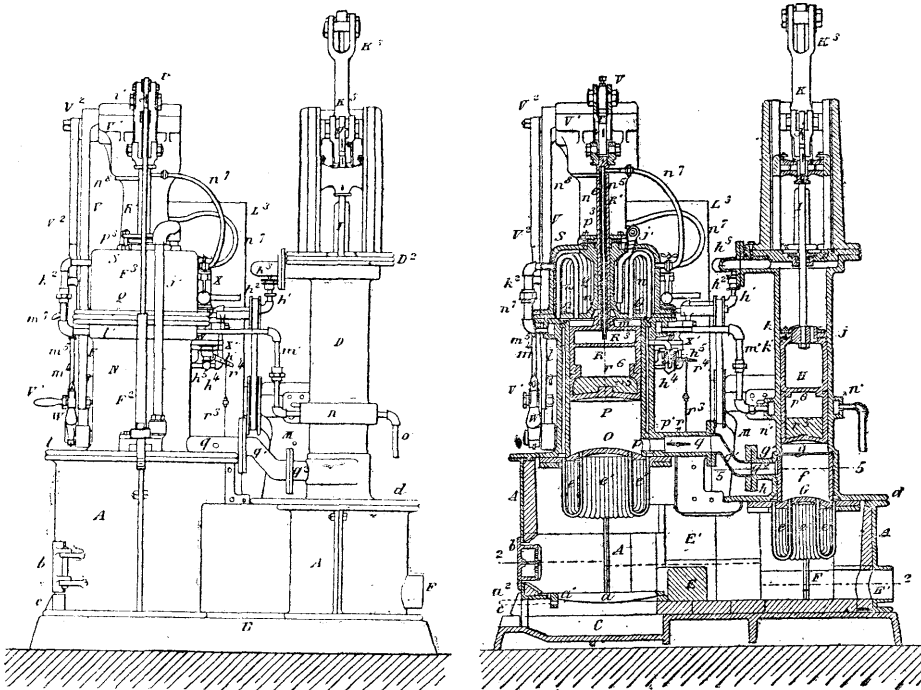


Fig. 42 et 43. — Vue par bout et coupe transversale 1-1, fig. 39. — A, foyer pourvu d'un autel E, dont les gaz s'échappent par E' F'. et qui chauffe les tubes réchauffeurs *e'* et *e* des cylindres moteurs D et déplaceurs N. *q*, tube faisant communiquer le bas de l'un des déplaceurs *o* avec le bas G du cylindre moteur correspondant, et pourvu d'un papillon *r* soumis au régulateur (fig. 55). *k*, tube faisant communiquer les hauts des cylindres moteurs ainsi maintenus toujours à la même pression. *k*, *m'*, *n'*, circulation d'eau froide autour des tubes réfrigérants *n*, dans l'enveloppe supérieure des déplaceurs, et dans l'enveloppe médiane des cylindres moteurs. *n*, circulation de l'eau dans les tiges et dans le haut des pistons déplaceurs.

De chaque côté de l'axe transversal du moteur, quand le piston déplaceur monte, l'air passe dans les tubes du réfrigérant *n* au travers du régénérateur (fig. 47) au travers des tubes du premier réchauffeur *e'*, puis dans ceux du second *e*, et enfin, sous le piston moteur qu'il soulève par sa dilatation. A la descente du piston moteur cet air passe par le trajet inverse (*e* *e'* régénérateur et *h*) au haut du déplaceur opposé, et réciproquement (pour les autres lettres des figures voir le texte).

La disposition de ces tubes est représentée figures 51 et 52, et ressemble à celle qui a déjà été décrite par les cylindres moteurs.

Le diamètre extérieur du cylindre renverseur P est un peu inférieur au diamètre intérieur de l'enveloppe N.

Le cylindre P est placé concentriquement par rapport à N, de sorte qu'il se forme un intervalle annulaire entre les deux cylindres; cet intervalle est destiné à recevoir un régénérateur.

Le cylindre P repose sur le fond O.

Dans sa partie inférieure, l'intervalle annulaire s'élargit, et, dans cette partie élargie, aboutissent les extrémités extérieures des tubes ϵ .

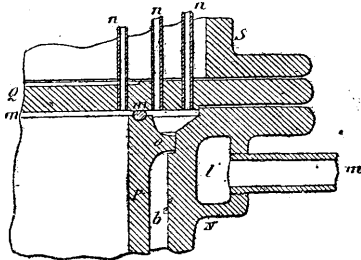


Fig. 45. — Détail du haut d'un cylindre déplaceur. — n , tubes du réfrigérant S. m , joint en caoutchouc. p , cylindre déplaceur. n , son enveloppe. b , régénérateur (fig. 47). m , circulation d'eau.

L'enveloppe N et le cylindre P, tandis que les extrémités intérieures se trouvent en communication avec l'intérieur du cylindre P, et ce au-dessous du piston renverseur R.

Le fond Q est muni d'un prolongement Q', dirigé vers le haut, et muni, à son extrémité supérieure, d'une boîte à étoupes avec une garniture p^3 par laquelle passe, à joint thermique, la tige du piston R'.

A sa partie supérieure, le prolongement Q' est muni d'un rebord saillant, sur lequel vient se poser le bord supérieur du chapeau S, dont la bride inférieure est boulonnée sur le couvercle Q.

On forme ainsi une chambre réfrigérante autour des tubes n , chambre destinée à être alimentée avec de l'eau froide, comme il sera décrit plus loin.

Les tiges de piston R', R² (fig. 38), sont reliées au balancier U au moyen des tiges d'articulation T, T'; ce balancier est porté par le support C'.

Les tiges du piston sont creuses et renferment un tuyau n^5 (fig. 43), de manière qu'il se forme un espace annulaire n^6 autour du tuyau n^5 .

Cet espace, ainsi que le tuyau intérieur, débouche dans la chambre réfrigérante R³, qui se trouve dans la chambre supérieure du piston R.

L'extrémité supérieure du tube n^5 sort, sur le côté, au dehors, et se relie à un tuyau flexible ou bien à un tuyau de joint n^7 , lequel, à son tour, se trouve en communication avec la chambre réfrigérante S (fig. 42 et 43).

A son extrémité supérieure, la chambre n^6 est munie d'un petit tube n^8 faisant saillie sur le côté et conduisant à un tuyau de décharge quelconque.

La construction du piston renverseur R est semblable à celle, déjà décrite, du piston H, et, comme ce dernier, il est garni de brique réfractaire r^5 et d'asbesfe r^6 , ou de matières semblables.

L'axe du balancier U² (fig. 38 et 43) porte à son extrémité extérieure un levier V, tourné vers le bas et muni, à son extrémité inférieure, d'un tourillon V', destiné à recevoir la fourche de la bielle W.

Au moyen de cette bielle W et de la manivelle L² (fig. 39), le mouvement est

L'extrémité supérieure des enveloppes N est fermée par un couvercle Q, boulonné à même, et posé sur une garniture de caoutchouc m (fig. 45), laquelle garnit une rainure circulaire qui se trouve à l'extrémité du cylindre P, afin de se former un joint hermétique, tout en permettant au cylindre P de se dilater jusqu'à un certain point.

Dans les fonds Q est fixée une certaine quantité de tubes en U n , dont la disposition est représentée figures 53 et 54.

Les extrémités extérieures de ces tubes aboutissent dans l'espace annulaire entre

transmis au levier V et au balancier R, et par conséquent aux deux pistons renverseurs.

Ce mouvement peut être produit également à la main, pendant la mise en marche de la machine, au moyen de la disposition suivante :

V², petit levier monté librement sur le même axe U², et muni, à son extrémité inférieure, d'une douille.

Dans cette douille pénètre la tige m⁴, qui est reliée par des articulations avec la fourche de la bielle W.

La tige m⁴ est munie d'une encoche m⁵, dans laquelle s'encoche une dent du ressort m⁶, de sorte, qu'aussitôt qu'on soulève la bielle W, elle reste soulevée.

On peut alors mouvoir le levier dans les deux sens à la main.

m⁷, came sur laquelle il faut appuyer pour dégager de l'encoche la dent de ressort m⁶, de sorte que la bielle peut retomber, et que son encoche s'engage de nouveau avec le bouton V.

Les cylindres renverseurs intérieurs P sont munis, à leur bord supérieur, de trois pattes ou plus o, faisant saillie (fig. 45, 46 et 47), reposant dans des rainures qui se trouvent à l'extrémité supérieure des enveloppes N, et servant à maintenir le cylindre P dans sa position, même pour le cas où l'on enlèverait le fond O du cylindre.

Tout près de l'extrémité inférieure des cylindres P se trouve une ouverture latérale p' (fig. 43), dont le bord p' touche exactement la circonférence intérieure du cylindre extérieur N, de sorte que la tubulure q forme un prolongement du bord p', en ménageant ainsi, à l'air qui passe de P dans la chambre annulaire h du cylindre moteur, un passage libre par l'ouverture p, la tubulure q, le tuyau q' et la tubulure q².

Nous avons déjà dit que la communication de cet espace annulaire h avec le cylindre moteur H est établie au moyen des tubes en U e (fig. 43).

Régulateur. — L'extrémité inférieure du cylindre P est également munie de deux ou un plus grand nombre de pattes en saillie p² (fig. 46), qui concourent, avec le rebord p', à maintenir le cylindre intérieur P au centre de l'enveloppe N, le rebord p' étant ajusté autour sur l'intérieur du cylindre extérieur N.

Dans chacune des tubulures q, il y a une valve régulatrice ou papillon r.

Le petit arbre r¹, le petit levier r², la tige r³, le levier r⁴, et finalement la tige o⁵, établissent sa connexion avec le régulateur X, monté sur le support X' (fig. 55).

Le levier r² peut être utilisé aussi comme levier à la main, pour ouvrir et fermer les valves régulatrices, indépendamment du régulateur.

On pourrait aussi, dans le même but, disposer un tuyau faisant communiquer l'extrémité inférieure et l'extrémité supérieure du cylindre moteur; ce tuyau serait muni de valves de réglage en connexion avec le régulateur.

Régénérateurs. — L'espace qui existe entre les cylindres P, N est rempli d'une certaine quantité de feuilles métalliques minces b¹.

Ces feuilles sont fixées sur la périphérie extérieure du cylindre P, au moyen d'entretoises c² et de boulons c₂ (fig. 47 et 48).

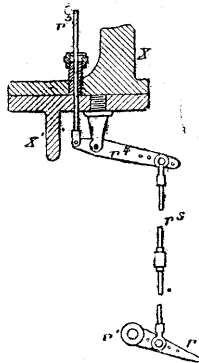


Fig. 55. — Moteur Woodbury. — Transmission du mouvement de la tige du régulateur r⁵ à l'axe r' du papillon q (fig. 43) par r₄, r₃, r₂. Les leviers r₂, r₄ sont percés de trous permettant de faire varier la sensibilité du réglage.

Les trous des feuilles par lesquelles passent les entretoises sont ovales, pour laisser du jeu à la dilatation.

Les feuilles b^2 sont toutes munies d'une ou plusieurs nervures d' . Les intervalles entre ces nervures sont larges et unis.

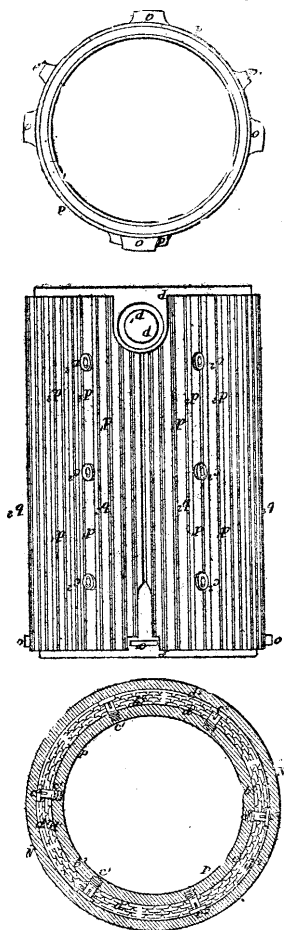


Fig. 46-47-48. — Moteur Woodbury. — Détail du régénérateur, plan, élévation et coupe horizontale. — b , séries de feuilles de tôle ou de nickel fixées entre le cylindre déplaceur P et son enveloppe N par des gougeons c' c_2 , et pourvues d'ondulations ou nervures d' , qui les maintiennent suffisamment écartées pour le passage de l'air. o et p_2 , saillies inférieures et supérieures entrant le cylindre P dans son enveloppe N (fig. 45). $p p'$ communication du cylindre déplaceur avec le cylindre moteur conjugué.

Ces chambres annulaires sont munies de tubes d'écoulement o' , o^2 , par lesquels l'eau peut s'écouler dans un récipient quelconque.

Le but en est de tenir les surfaces planes des feuilles, séparées les unes des autres par des espaces très étroits, par lesquels l'air, qui vient de l'appareil de chauffage, et se rend à l'appareil réfrigérant, et *vice versa*, est forcé de passer en se divisant en couches minces.

Le nombre et l'épaisseur de ces feuilles, ainsi que les intervalles, sont calculés de telle sorte que le chauffage et le refroidissement de l'air qui les traverse se fassent de la façon la plus avantageuse.

La disposition de cet agencement est représentée figures 46, 47 et 48.

Pompe à air. — D^4 (fig. 38 à 40), pompe à air d'un système quelconque; elle est commandée par le mouvement du balancier U , transmis par la bielle g^2 et l'articulation g^3 .

Cette pompe à air a pour but de refouler l'air par le tube h' , le clapet de retenue h^2 (fig. 42 et 43), les tubes h^3 , dans les cylindres moteurs D , D' , au-dessus de leurs pistons, ainsi que, par les tubes h^4 et le clapet de retenue h^5 , dans les cylindres des renverseurs N , et d'y apporter l'air à une certaine tension.

Pompe à eau. — F^2 , pompe à eau commandée de la même façon que la pompe à air, c'est-à-dire, que le mouvement du balancier U lui est transmis par l'articulation i' et la bielle F^4 .

Cette pompe à eau fait entrer de l'eau par les tubes j' , j^2 (fig. 38) dans la chambre réfrigérante S (fig. 43).

De là, l'eau passe par les tubes K^3 (fig. 38) dans les chambres annulaires l' , l^2 (fig. 38, 42 et 43) qui entourent les parties supérieures des enveloppes N des cylindres renverseurs, de sorte qu'elle empêche que la chaleur ne se transmette à la chambre réfrigérante S et aux fonds Q .

De là, l'eau passe par les tubes m' , m^2 aux chambres annulaires n' et n^2 , qui entourent les cylindres travailleurs vers le milieu de leur hauteur, c'est-à-dire au-dessous du point le plus bas auquel puissent atteindre les garnitures j de l'extrémité supérieure du piston.

De cette façon, on empêche que la garniture j ne souffre de la chaleur, puisque la transmission de la chaleur vers la partie supérieure du cylindre moteur est interrompue.

Le tube n^7 amène aussi de l'eau dans le tube n^8 , à l'intérieur des tiges de pistons R^1 , R^2 des cylindres renverseurs et, de là, dans les chambres R^3 des pistons déplumeurs.

De là, l'eau passe dans l'espace annulaire n^6 des tiges de piston, et s'écoule par n^8 dans un récipient quelconque, fig. 42 et 43.

Les tubes de chauffage et de refroidissement e , e' , n , au lieu d'être en U, peuvent avoir toute autre forme atteignant le but de chauffer et de refroidir l'air d'un façon convenable et rapide. On pourrait, par exemple, réunir à leur partie inférieure des tubes droits dans un anneau creux.

Cette combinaison, aussi bien que toute autre, doit toujours être basée sur le principe d'obtenir la plus grande surface de chauffe avec le plus petit volume possible, afin d'avoir le moins d'espace nuisible possible. Il en est de même pour les tubes réfrigérants.

Foyer.— Nous devons dire encore quelque chose au sujet des chambres de chauffe et de fumée.

Nous avons dit, en commençant, que les enveloppes A de ces boîtes servent de bases aux cylindres renverseurs et aux cylindres moteurs.

L'enveloppe qui se trouve au-dessous de chaque cylindre renverseur contient le foyer proprement dit, ou chambre de combustion; elle est donc garnie de briques réfractaires.

Elle contient, en outre, la grille qui, soit dit en passant, peut être secouée au moyen de la tige a^2 , pour faire tomber les cendres dans le cendrier inférieur C, disposé dans la plaque de fondation B, sur laquelle sont boulonnées également les enveloppes.

Les flammes passent en E' (fig. 43), par dessus le pont de chauffe E, et arrivent dans la boîte à fumée F, au-dessous de chaque cylindre moteur, où elles chauffent aussi les tubes e .

Le carneau F' conduit les gaz à une cheminée.

Les enveloppes A sont construites de façon qu'on puisse en enlever certaines parties, sans qu'il soit nécessaire de démonter la machine, afin de pouvoir atteindre aux tubes de chauffe e' , e et aux fonds O, G, dans le cas où des réparations seraient nécessaires.

Les figures 42 et 43 indiquent sur chaque enveloppe un joint de division médian, muni de brides extérieures permettant de relier, au moyen de boulons, les diverses pièces.

Cette disposition permet d'enlever la partie antérieure de chaque enveloppe, avec sa garniture de maçonnerie, de sorte que même cette dernière peut être réparée sans difficulté.

Les appareils de chauffe des machines caloriques doivent chauffer l'air le plus rapidement possible, de sorte qu'ils sont exposés à une détérioration rapide par la chaleur et l'oxydation.

Il s'agit donc de les fabriquer d'un métal résistant à l'oxydation et relativement bon marché.

J'ai trouvé que le *nickel*, qui, jusqu'à présent, n'a jamais été employé dans ce but, remplit le mieux ces conditions.

Fonctionnement de la machine. — La manivelle L^2 , servant à mouvoir les renverseurs, est calée, avec l'avance voulue par rapport à la manivelle principale L, sur l'arbre principal; cette avance se réfère, naturellement, au sens de rotation indiqué par les flèches, fig. 38 et 40.

Or, en supposant que le feu qui est sur la grille a soit allumé, l'air s'échauffe dans les tubes de chauffage e , e' .

On détache alors l'encoche excentrique W du tourillon V' , et on met en mouvement le balancier U, à la main, au moyen du levier V, dont la marche est limitée par deux taquets t , fig. 38.

Le mouvement du balancier fait monter et descendre les renverseurs, de sorte que l'air contenu dans les cylindres renverseurs suit la route suivante :

De l'extrémité supérieure de l'un des cylindres, l'air est forcé de passer par les tubes *n* et par les intervalles du régénérateur, et ensuite par les tubes *e'*, où il est

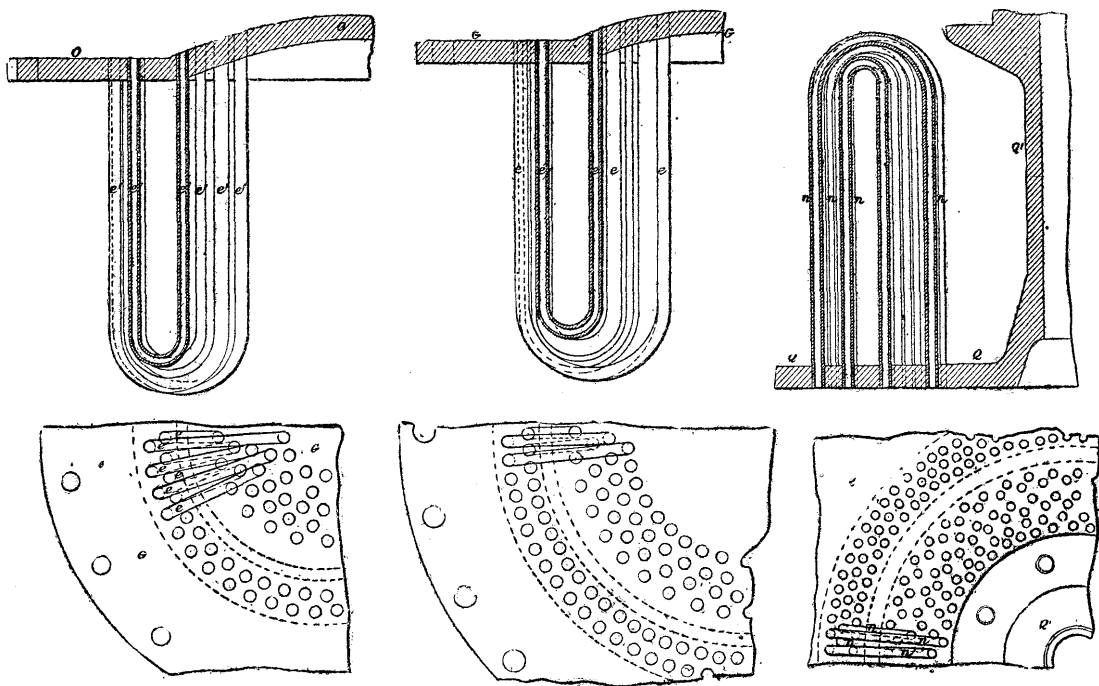


Fig. 49 à 54. — Moteur Woodbury. — Tubes réchauffeurs des cylindres moteurs (*cc*), des déplaceurs (*e' e'*) et réfrigérants (*n n*) du haut des cylindres déplaceurs. *G O*, fonds des cylindres moteurs et déplaceurs. *Q*, fonds supérieurs des déplaceurs, pourvus d'un fourneau *Q'*, laissant passer les tiges de leurs pistons.

chauffé, dans la chambre *P*, sous le piston renverseur ; de là, par les tubes *p*, par la valve *r*, par les tubes *q, q', q''*, par la chambre *h*, par les tubes *e*, où il est chauffé encore dans l'espace qui existe sous le piston moteur.

Par contre, l'air qui est sous le piston renverseur de l'autre cylindre renverseur et sous l'autre piston moteur est poussé dans la direction contraire, par les intervalles du régénérateur, par les tubes réfrigérants *n*, dans l'espace qui est au-dessus de ce piston renverseur.

De cette façon, la pression de l'air dans l'un des cylindres renverseurs et dans l'espace qui existe au-dessous du cylindre moteur correspondant du côté opposé est augmentée considérablement en proportion du chauffage, tandis que la pression dans l'autre cylindre renverseur, ainsi qu'au-dessous du piston du cylindre moteur correspondant, est diminuée dans la même proportion.

Cependant la pression de l'air au-dessus des deux pistons moteurs reste la même parce qu'il peut passer librement de l'espace qui existe du dessus du piston de l'un des cylindres travailleurs à celui de l'autre, puisque ces deux espaces sont mis en communication par le tube *h*³, fig. 38 et 43.

Au lieu de relier entre eux, par le tube *h*³, les espaces qui existent au-dessus

des pistons moteurs, on pourrait les laisser communiquer avec l'air libre, mais alors les garnitures des pistons moteurs devraient fermer hermétiquement sous une pression égale à la tension initiale de l'air froid augmentée de la tension acquise par le chauffage, c'est-à-dire sous une pression considérable.

Au contraire, la disposition adoptée permet d'équilibrer constamment la tension initiale de l'air froid contre la face inférieure du piston au moyen de la même tension s'exerçant sur la face supérieure.

On n'a donc, pour la garniture du piston, à tenir compte que de la tension produite par le chauffage de l'air, ce qui rend la garniture des pistons moteurs bien moins fatiguée.

L'augmentation de la pression sous l'un des pistons moteurs et la diminution de la pression sous l'autre impriment à l'un des pistons un mouvement ascendant et à l'autre un mouvement descendant, mouvement qui continue jusqu'à ce que les deux pistons soient arrivés à fin de course.

Or, en renversant à la main les pistons renverseurs, la marche qui vient d'être décrite des pistons moteurs se répète en sens inverse ; c'est-à-dire que, maintenant, la diminution de pression se produit au-dessous du piston qui est en haut, tandis que l'augmentation de pression a lieu sous le piston opposé.

Or, en remettant l'encoche W sur le bouton V', le changement de marche et le mouvement alternatif des renverseurs sont produits automatiquement par la machine, dont la marche met en même temps en mouvement les pompes à air et à eau mentionnées plus haut.

D'une part, de l'eau réfrigérante est amenée dans l'intérieur ou autour de certaines parties de la machine, comme il a été dit plus haut, tandis, que d'autre part, de l'air est comprimé au-dessus des pistons moteurs, d'où il pénètre par les divers tubes et valves dans toutes les chambres à air de la machine.

La force motrice de la machine est obtenue par la différence des pressions dans les chambres froides et dans les chambres chaudes.

Avantages des hautes pressions. — On sait que, lorsque la pression initiale dans la machine, par exemple la pression initiale de l'air froid, a simplement la tension atmosphérique, cette tension est doublée lorsqu'on chauffe cet air à 250 degrés centigrades environ, de sorte que nous obtenons 1 atmosphère dans les chambres froides, et 2 atmosphères dans les chambres chaudes ; la machine travaillerait donc avec une pression effective de 1 atmosphère.

Mais si l'on élève la tension initiale de l'air froid à 2, 4 ou un plus grand nombre d'atmosphères, par exemple 10, de nombreuses expériences ont démontré que l'air froid à la tension de 10 atmosphères, chauffé de la même façon que s'il était à la pression atmosphérique ordinaire, acquiert également une pression double, de sorte que l'air froid à une tension de 10 atmosphères, chauffé à 250 degrés centigrades environ, acquiert une pression de 20 atmosphères.

Par conséquent, la machine travaillerait avec une surcharge ou pression réelle de 10 atmosphères, c'est-à-dire la différence entre la pression initiale et la pression de 20 atmosphères résultant de l'élévation de température.

Il a été démontré, en outre, qu'il ne faut pas plus de combustible pour élever à 250 degrés ou à toute autre température, dans un espace déterminé, de l'air à plusieurs atmosphères de pression que pour élever à la même température l'air à la simple pression atmosphérique.

Or, comme la force de la machine augmente en proportion de la tension initiale, sans que la consommation de combustible soit augmentée, la machine sera d'autant plus économique, au point de vue du combustible, que la tension initiale sera plus élevée.

Cette tension n'est limitée que par la résistance des matériaux employés, et l'on a obtenu, en effet, pour la tension permise, des économies de combustible inconnues jusqu'à ce jour.

Toute la construction de la machine repose sur le principe de chauffer rapidement, et de refroidir de même, de l'air à une très haute tension, et de le forcer pendant son passage de la chambre chaude à la chambre froide et *vice versa*, à céder le plus de chaleur possible aux régénérateurs et à en recevoir le plus possible au retour.

La fonction de la *pompe à air* est donc nettement indiquée ; elle sert à élever et à maintenir au degré voulu ou nécessaire la tension initiale de l'air froid de la machine.

Après avoir obtenu cette pression, la pompe est arrêtée soit à la main, soit automatiquement, ou bien on limite l'élévation de la pression à un degré quelconque au moyen d'une soupape de sûreté.

Nous avons vu que la force motrice réelle de la machine dépend de la tension de l'air et du degré de chauffe ; l'augmentation ou la diminution de la pression initiale au moyen de la pompe à air, ou bien encore l'augmentation ou la diminution du feu, suffit donc pour obtenir plus ou moins de force motrice.

Quant à l'augmentation ou la diminution immédiate de la force motrice, afin de suffire à des exigences modifiées ou de vaincre des résistances additionnelles et de maintenir le nombre de tours voulu, elle est réglée au moyen du régulateur ci-dessus, en combinaison avec les valves de réglage, puisque, par le rétrécissement ou l'élargissement du passage d'air dans les tubes q' , la vitesse de l'air qui passe est augmentée ou diminuée.

Il va sans dire que la résistance due au frottement de l'air augmente ou diminue dans la même proportion et règle aussi le nombre de tours de la machine.

Variante. — La machine peut être modifiée de différentes manières.

Les figures 58 et 59 représentent une variante de la machine, c'est-à-dire une machine avec un cylindre moteur à double effet et deux cylindres renverseurs.

L'extrémité chauffée de l'un des cylindres renverseurs est reliée à la chambre qui existe au-dessous du piston moteur, au moyen des tubes q, q', q^2 , de la même façon que celle décrite ci-dessus, tandis que l'extrémité chauffée de l'autre cylindre renverseur est reliée à la chambre qui existe au-dessus du piston travailleur, au moyen des tubes q^2 .

De cette façon, l'air chauffé, et partant à plus haute pression, est amené alternativement au-dessus et au-dessous du piston. La machine est donc à double effet.

Cette disposition comporte encore une chambre annulaire o^2 , ménagée dans le couvercle supérieur du cylindre, par laquelle l'eau passe pour protéger l'étaupe de la boîte à étoupe contre l'échauffement.

Le cylindre moteur est construit en deux pièces, à peu près de la même longueur, et est muni, au point de jonction, de la double garniture o^3, o^6 et de la bague métallique q^4 .

Au-dessus et au-dessous de cette garniture se trouvent les chambres annulaires à eau o^8, o^9 , qui empêchent la garniture de souffrir de la chaleur.

Il va de soi qu'on peut combiner encore une autre variante en employant deux cylindres renverseurs et deux cylindres moteurs, comme il a été dit pour la machine du premier type, tout en construisant les deux cylindres moteurs à double effet comme il a été dit pour le deuxième type.

Dans ce cas, il faut relier l'extrémité chauffée de chaque cylindre renverseur aussi bien avec la partie supérieure de l'un qu'avec la partie inférieure de l'autre des cylindres moteurs.

Finalement, on obtiendrait un troisième type par l'emploi d'un cylindre renverseur et d'un seul cylindre moteur à simple effet, c'est-à-dire exactement comme pour la machine décrite en premier lieu, avec cette différence que celle-ci possède deux cylindres renverseurs et deux cylindres moteurs.

Une telle machine, sans d'autres dispositions, ne serait naturellement qu'à effet simple, c'est-à-dire qu'elle ne produirait de la force motrice que pendant la marche ascendante du piston moteur; ce serait donc une disposition qui conviendrait beaucoup à un outil n'exigeant qu'une force motrice à simple effet, comme une pompe de puits ou de mine à simple effet, etc.

Il va sans dire que, au moyen de contrepoids ou en comprimant de l'air dans une chambre au-dessus du piston moteur, on peut répartir à volonté la force motrice, de sorte que une partie de la force exercée par la machine pendant la marche ascendante du piston servirait à soulever le contrepoids ou bien à comprimer le coussin d'air froid, qui serait regagné lors du retour à vide du piston.

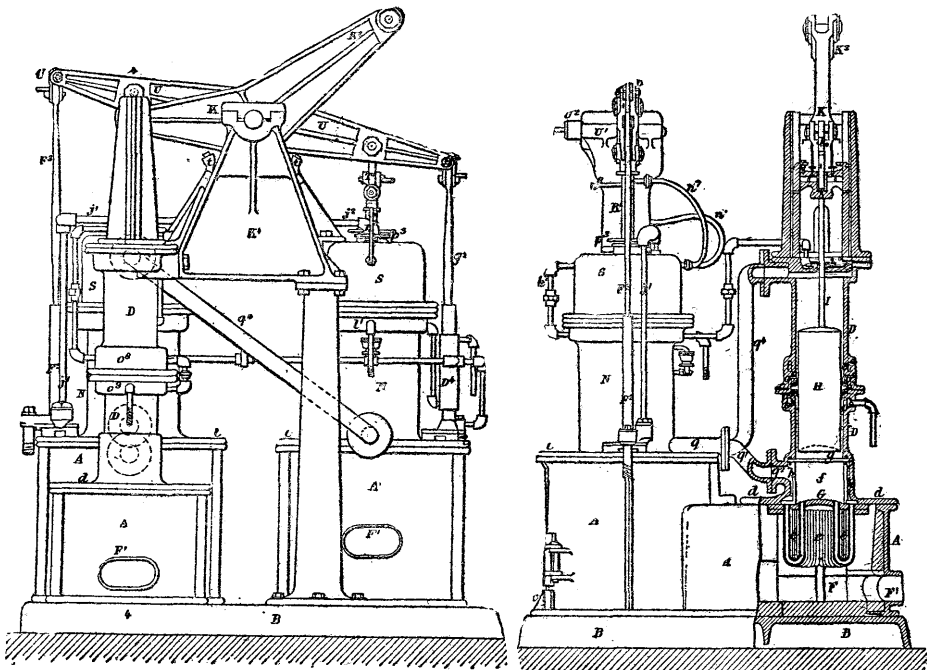


Fig. 58 et 59. — Moteur Woodbury. — Variante. — Elévation, vue du côté du cylindre moteur et vue par bout avec coupe par le cylindre moteur. Cette machine comprend deux cylindres déplaceurs N et un seul cylindre moteur D, à double effet. Le haut du cylindre moteur communique avec le bas du déplaceur de droite par le tuyau q_1 , et le bas avec celui de gauche par q . Même légende que pour les figures 39, etc.

La machine, telle qu'elle est construite, diffère (fig. 60) de celle du brevet par quelques détails de construction, dont le plus important est la suppression des tubes échangeurs du foyer, qui ne résistaient probablement pas au feu.

L'une de ces machines, dont les pistons déplaceurs avaient 500 millimètres de diamètre et 300 millimètres de course, et les pistons moteurs 250×600 millimètres, a donné les résultats suivants :

Puissance indiquée avec une pression d'admission de

4 atmosphères 26 chevaux

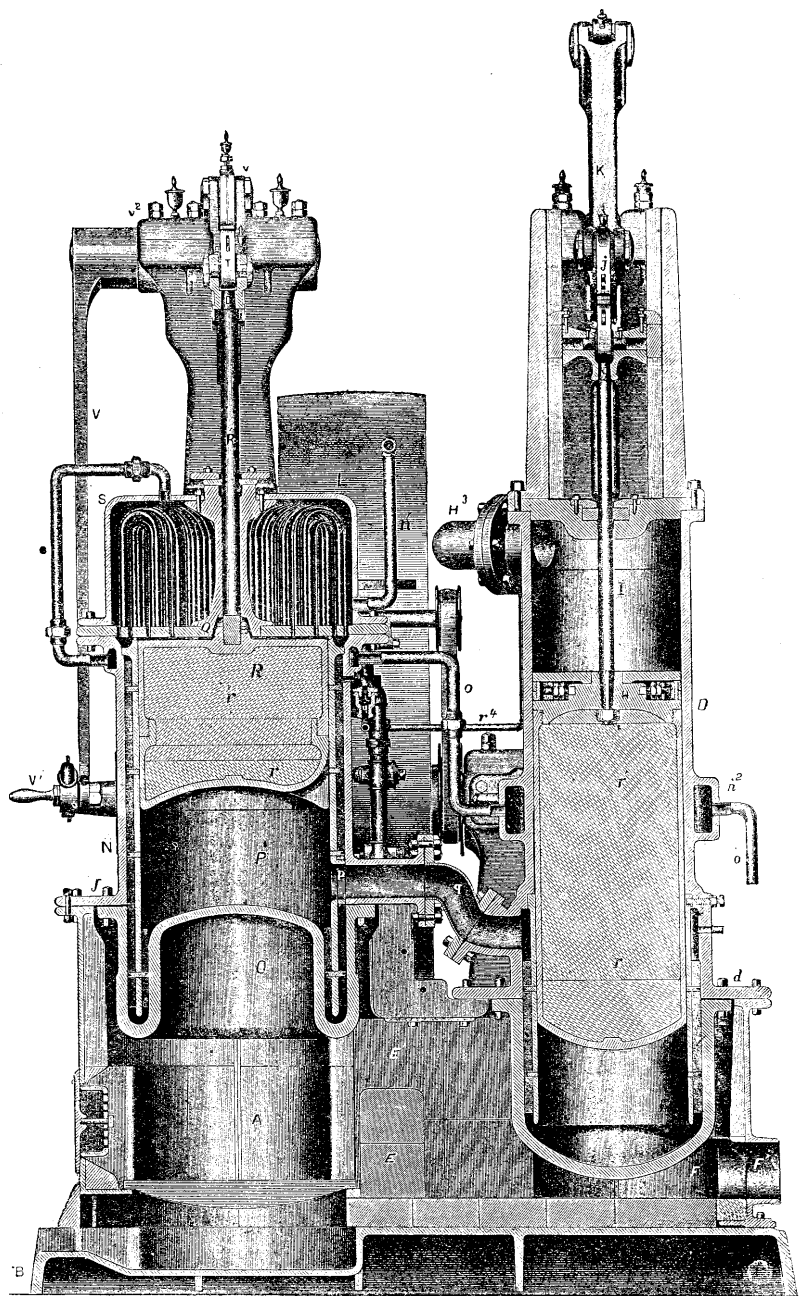


Fig. 60. — Moteur Woodbury de 16 chevaux. — P, cylindre déplaceur communiquant par *p q* avec le régénérateur, disposé en *f*, autour du bas du cylindre moteur D. N, régénérateur du cylindre déplaceur. s, réfrigérant. *n° o n° o*, circulation d'eau. *r*, refoulement de la pompe de fuites. V'V commande du balancier T des déplaceurs. H₃, tuyau réunissant le haut des cylindres moteurs. A, foyer. E', chambre de chauffe avec pont E. F, cheminée. C, cendrier.

Dépense de charbon en 10 heures	180 kil.
Id. cheval-heure indiqué.	0 kil. 700

Vitesse : 100 tours par minute.

On dépensait par heure pour le refroidissement, environ 4 mètres cubes d'eau dont la température s'élevait de 12°.

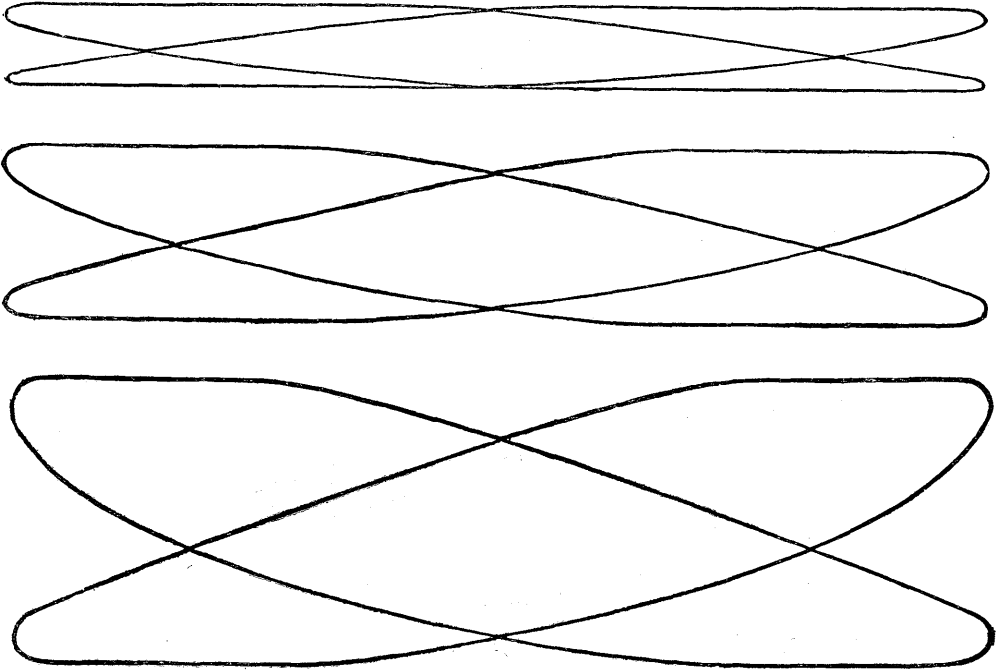


Fig. 61, 62 et 63. — Diagrammes du cylindre moteur de la machine Woodburg avec ses compressions initiales de 1, 2 et 3 1/2 atmosphères, indiquant respectivement 8, 15 et 25 chevaux.

Il se déplaçait, à chaque tour dans la machine, de la partie chaude à la partie froide, environ 260 litres d'air — dont 130 étaient refroidis et 130 chauffés de 220° environ. On échauffait ainsi, par heure, de 220°, à la vitesse de 100 tours, environ 4000 kilogrammes d'air à 4 atmosphères.

A un atmosphère, la machine ne donnait plus que 8 chevaux. Ses diagrammes fig. 61, 62, 63, relevés aux cylindres moteurs à 1, 2 et 3 1/2 atmosphères indiquent respectivement 15 et 25 chevaux, avec la même dépense de combustible.

La machine essayée avait déjà fonctionné près de deux ans avec une grande régularité et très peu d'entretien. La dépense du graissage notamment serait très faible, et le foyer, dont le renouvellement ne coûte que 130 francs, durerait près de deux ans.

La machine peut encore tourner — grâce à la chaleur emmagasinée — pendant deux ou trois heures après l'extinction du feu, mais avec une puissance diminuant peu à peu jusqu'à l'arrêt.

Machine Robinson (cycle fermé)

La petite machine de MM. A. E. et H. Robinson, construite par *Frank Pearn and Co*, de Manchester, est une machine Stirling à faible pression, compacte, très simple et chauffée au gaz. Le piston moteur C (fig. 64) et le déplaceur F sont conjugués dans un même cylindre par deux manivelles à 90° : la manivelle

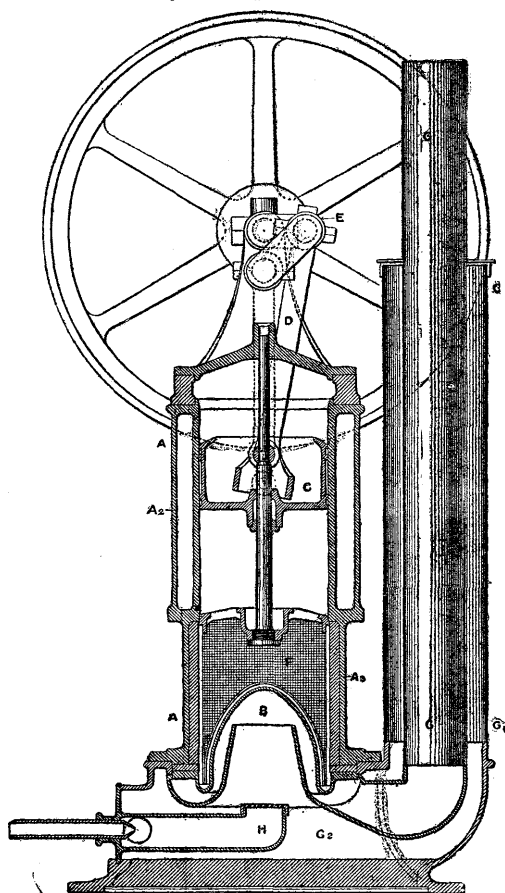


Fig. 64. — Moteur Robinson chauffé au gaz. — F, piston déplaceur, avec régénérateur. C, piston moteur. D E, bielle et manivelle motrices. A₂, enveloppe d'eau. A₃, garnissage en terre réfractaire. H, brûleur de Bunzen chauffant le fonds B du cylindre moteur, dont les produits de combustion s'évacuent par une cheminée G, le long de laquelle vient s'échauffer, en G₁ G₂, l'air qui va en G₂, alimenter la combustion du bec.

du déplaceur est en avant de celle E du piston moteur. Le déplaceur F étant en haut de sa course et le piston C au bas, l'air chauffé sous le déplaceur se détend et repousse le piston C, en même temps que le déplaceur descend. L'air chaud traverse alors le régénérateur et achève de se refroidir entre F et C, au contact des parois A₂, parcourues par une circulation d'eau : ils'y contracte, et le piston C descend. C'est toujours le même air qui fonctionne, alternativement dilaté puis contracté. Le déplaceur est enveloppé en A₃ d'une garniture réfractaire. Le fond B est chauffé par un brûleur de Bunsen H, dont les produits de combustion, qui s'échappent en G, échauffent l'air destiné à brûler le gaz, et amené par l'enveloppe G₁. Les échanges de températures s'effectuent principalement par le régénérateur. A chaque course, le brûleur de Bunsen fournit un peu de chaleur, dont la partie non transformée en travail se perd par l'échappement de ses gaz brûlés et par le réfrigérant. La chaleur est fournie à l'air moteur quand il se trouve à sa température la plus haute de son cycle ; elle lui est retirée quand il se trouve à sa température la plus basse : conditions essentielles d'une bonne machine thermique.

D'après M. Jenkin, on construit des machines de ce type en trois séries, suivant les données du tableau ci-dessous.

Puissance		Prix	Tours par minute	Dépense de gaz par heure	Piston: diamètre, course.	
1 homme . . .	0 ch. 10	625 fr.	270	5 centimes	150 ^m / _m	130 ^m / _m
1 homme 1/2	0 ch. 15	750	«	7. 5		
2 hommes . .	1/2 chev.	875	«	10	200	130

Prenant le gaz à 0 fr. 10 le mètre cube — prix élevé en Angleterre — on voit que ce moteur ne présente aucun avantage ni de prix d'achat, ni d'économie de combustible sur le moteur à gaz, qui utilise la combustion du gaz directement dans son cylindre, sans régénérateur.

C'est en effet avec du charbon et pas avec du gaz qu'il faut chauffer les moteurs à air chaud, même les plus petits, lorsqu'on attache plus d'importance à l'économie qu'à la commodité du service. La machine Robinson représentée par les figures 65 et 66 peut se chauffer à volonté au gaz ou au charbon (1). Dans la position indiquée (fig. 66) le régénérateur I arrive au fond de sa course descendante et le piston moteur B au fond de sa course arrière. Lorsque le régénérateur monte, l'air compris entre le piston moteur et lui le traverse, s'échauffe, se dilate, et fait accomplir à B sa course motrice. Cette machine, d'une mise en train facile, exige peu de graissage. Ses mécanismes, très simples et d'un entretien facile — sauf, comme toujours, le régénérateur — sont parfaitement équilibrés ; on la construit jusqu'à la force de 4 hommes.

1. Brevets anglais 12,346, 29 septembre 1886 et 298 du 8 janvier 1889. — Mechanical Progress, 24 mars 1888. — The Engineer 28 nov. 1890.

pillon malgré le poids z^1 , de sorte qu'il s'échappe de l'air du moteur jusqu'à ce qu'il ait repris sa vitesse normale. Il suffit d'ouvrir en grand ce papillon, en soulevant à la main le poids z^2 , pour arrêter la machine.

MACHINES A FOYER INTÉRIEUR

Machine Leavitt (¹)

La machine de M. Leavitt est (fig. 68 à 70) remarquable par sa simplicité et par quelques détails ingénieux.

Pendant la première moitié de sa course descendante, le piston K de la pompe à air, calé à 90° en retard de celui du cylindre moteur, chasse son air par la soupape d'échappement N, maintenue ouverte. Pendant la seconde moitié de la course, cette soupape se ferme, et l'air est refoulé par f'' au foyer, où il s'échauffe d'abord sous volume constant puis se dilate. Le volume de la pompe est égal à celui du cylindre moteur. Au retour du piston moteur, les produits brûlés s'échappent par $f' g$ N.

Le chargement du foyer s'opère automatiquement par l'appareil représenté en détails sur la figure 70. Le chargeur T dont l'arbre q est mû par la transmission $m K h$, verse son coke en avant du piston v , puis se referme, comme l'indique la fig. 70, et le piston v mû par $o p x$ pousse le chargement par D, fig. 68, dans le foyer. Le charbon est amené par un pelleteur R., animé, par la transmission $h. o. p$, d'un mouvement alternatif dans le bac à charbon P, à un racloir S, qui le pousse et l'égalise dans la trémie i du chargeur T, au sommet de laquelle la crosse r, a' ressort de rappel s , lui imprime un mouvement de va et vient.

1. Brevet français 96373 de 1872.

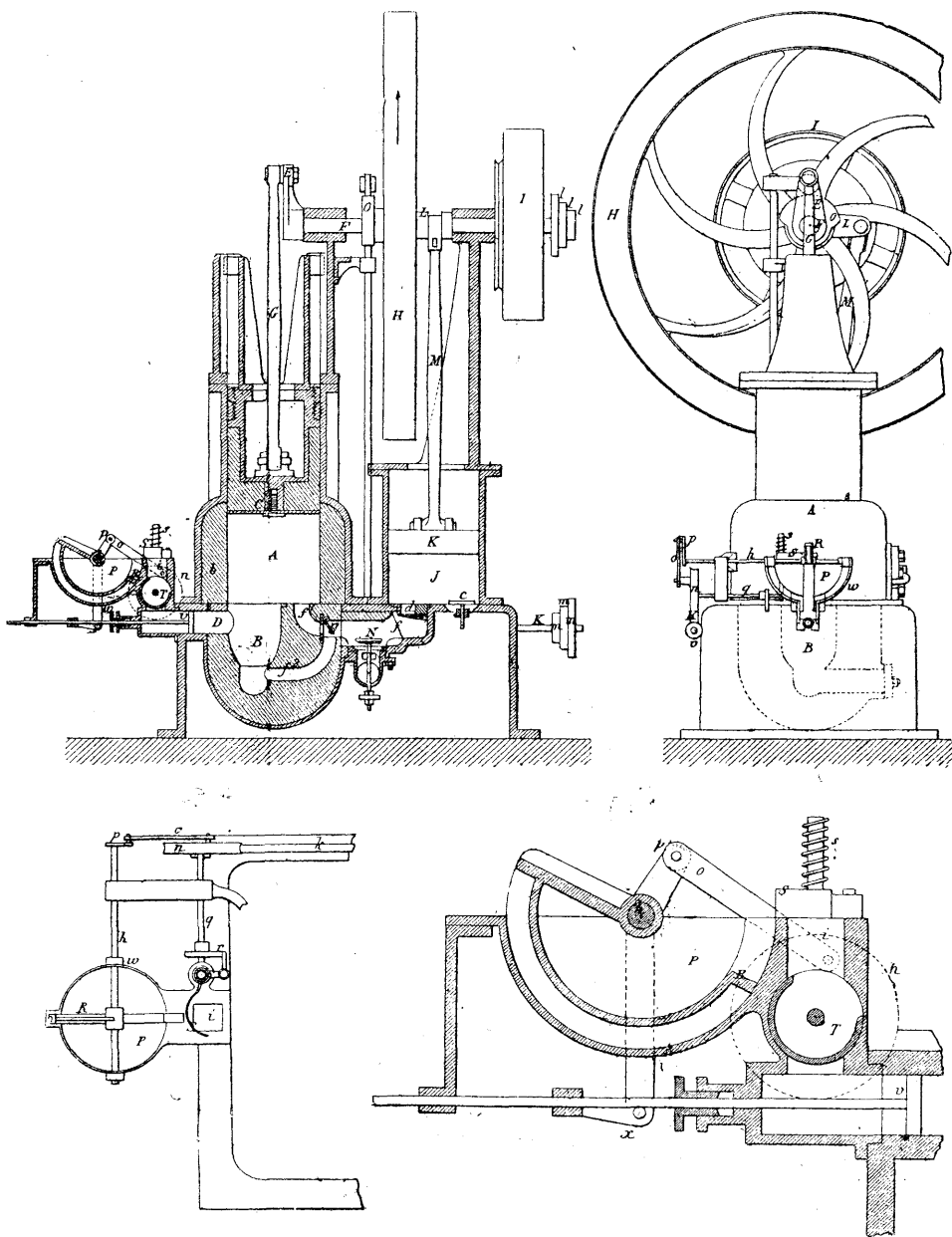


Fig. 68 à 70. — *Machine Leavitt*. — Coupe verticale par le cylindre moteur, vue par bout, plan et détail du chargeur.

A cylindre moteur à garniture réfractaire *b*, dont le bas forme un foyer recevant, par *d f f* ₃ B, l'air comprimé de la pompe J ; par D, l'alimentation du charbon, et évacuant, par *f' g* N, les gaz brûlés. K, piston de la pompe à air J, actionnée par une bielle M et une manivelle L à 90° en arrière de la manivelle motrice E. *c d*, soupapes d'aspiration et de refoulement de la pompe J. *l l l m m*, transmission à vitesses variables communiquant, par l'arbre K, la vis *v* et les trains *n q* et *n o p h*, un mouvement de rotation au chargeur T et un mouvement oscillant au pelleteur PR, ainsi qu'au pousseur *v*. S, raclette à ressort de rappel *s*, recevant, par *r* (fig. 69), un mouvement oscillant de balayage ou d'enfournement du charbon au-dessus de la trémie *i*.

Machine Buckett ⁽¹⁾

Le fonctionnement de cette machine est facile à saisir sur les figures 71 et 72.

L'air nécessaire à la marche du foyer sous pression A y est refoulé de la pompe J par le tuyau H, au travers d'une valve régulatrice très ingénieuse D qui le distribue partie au dessous du foyer par F, partie au-dessus par une ou-

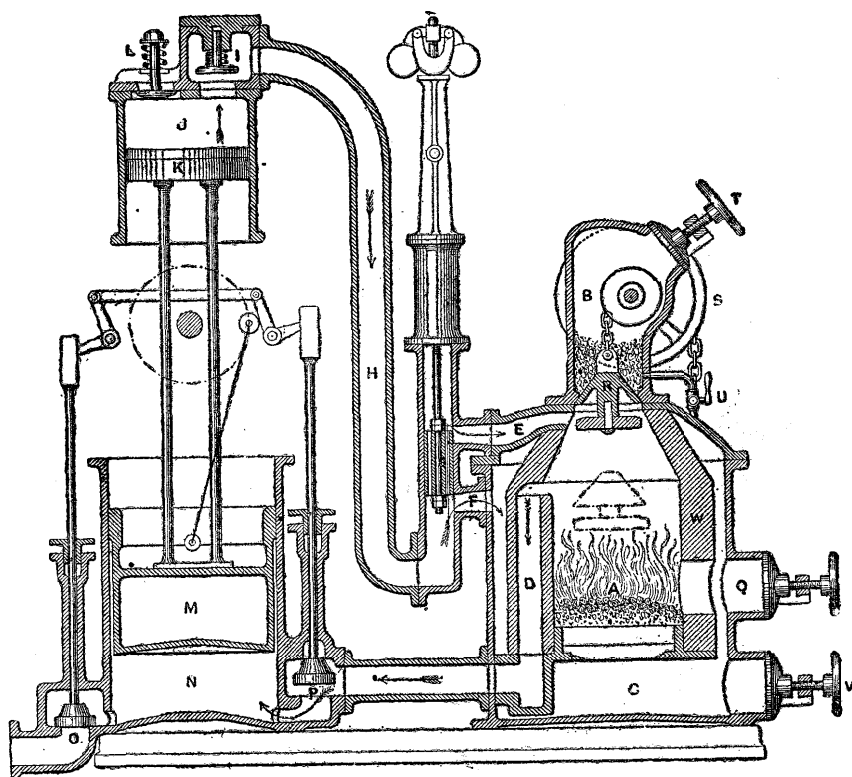


Fig. 71. — *Machine Buckett de 15 chevaux.* — A, foyer clos recevant l'air comprimé par la pompe J, dans le tuyau H, par une valve de réglage G, soumise au régulateur; cette valve admet, suivant sa position, une partie plus ou moins grande de l'air au-dessus de la grille par GE, et le reste au-dessous, pour activer plus ou moins la combustion suivant l'allure du moteur. B, trémie de chargement, dont le clapet R est commandé de l'extérieur par une manette S. U, robinet permettant de mettre en équilibre de pression la trémie B et le foyer. TQV, regards étanches de la trémie du foyer et du cendrier. PO, soupapes d'admission et d'échappement du cylindre moteur N. La soupape P, souvent en graphite, est rafraîchie par une circulation d'air froid non indiquée sur la figure. M, piston moteur, épais et non conducteur, relié directement au piston K de la pompe à air. L, aspiration, I, refoulement de la pompe à air.

1. Brevet français 116,176 de 1876.

Jenkin « Caloric Engines ». — Robinson « Gas and Petroleum Engines » p. 109, 1 vol. Londres, Spon. 1890. — Engineering, 14 janvier 1887.

verture E, que le régulateur ouvre d'autant plus que la machine s'accélère d'avantage. Cette distribution de l'air permet en outre de brûler par l'air admis en E presque tout l'oxyde de carbone qui se produirait au foyer.

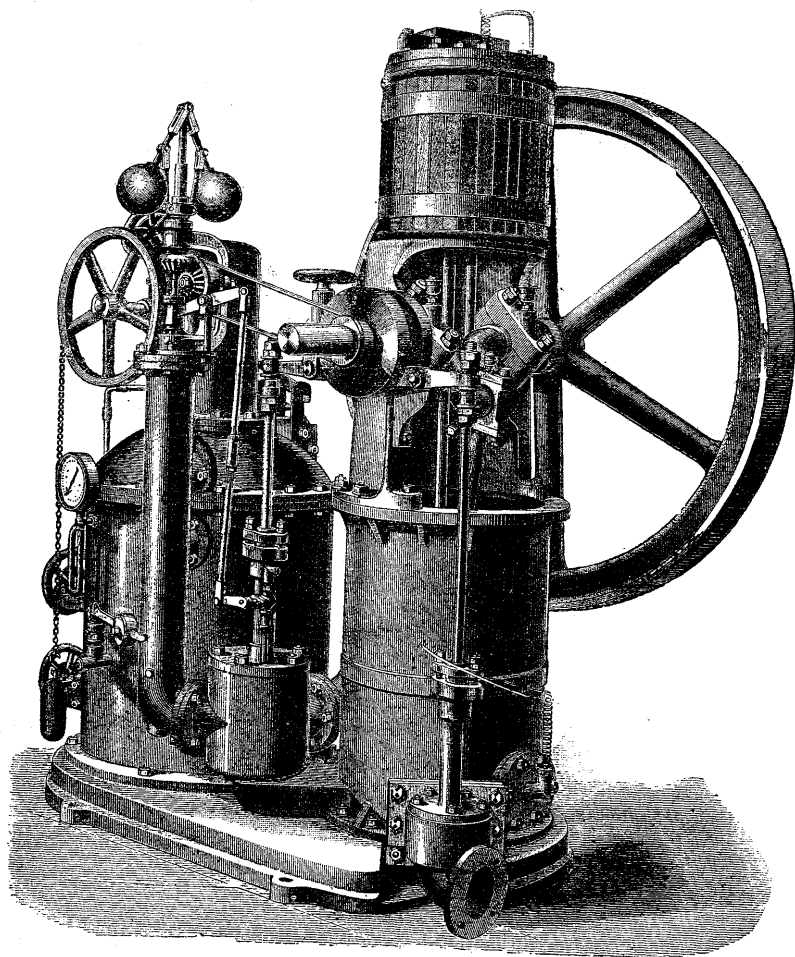


Fig. 72. — *Machine Buckett de 15 chevaux*, vue d'ensemble du côté du régulateur. — On voit sur cette figure comment le tuyau K (fig. 71) de la pompe à air est détourné de manière que tout l'air refoulé passe autour de la soupape d'admission J, et la refroidisse.

Les gaz brûlés passent du foyer au piston moteur M par la soupape d'admission P, rafraîchie par le passage autour d'elle de l'air refoulé de la pompe au foyer. Ces gaz arrivent au cylindre moteur à près de 2 kilos. Son diagramme. — fig. 73, dont il faut déduire celui de la pompe, ressemble beaucoup à celui des machines à vapeur. La pression y tombe de 2 kil. 10 à presque la pression at-

mosphérique. Le diagramme de la pompe (21 chevaux) ou du travail résistant, est supérieur à la moitié de celui du cylindre moteur : 41 chevaux 24. Le travail indiqué effectif de la machine sur laquelle on a relevé le diagramme fig. 73

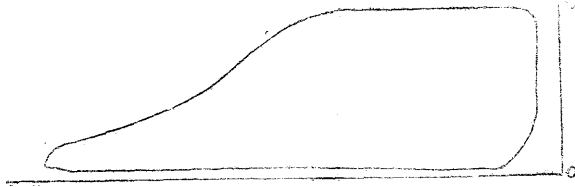


Fig. 73. — Diagramme du cylindre moteur.

était de 20 chevaux 2, et son travail au frein de 14 chevaux 39 : rendement organique 0,71.

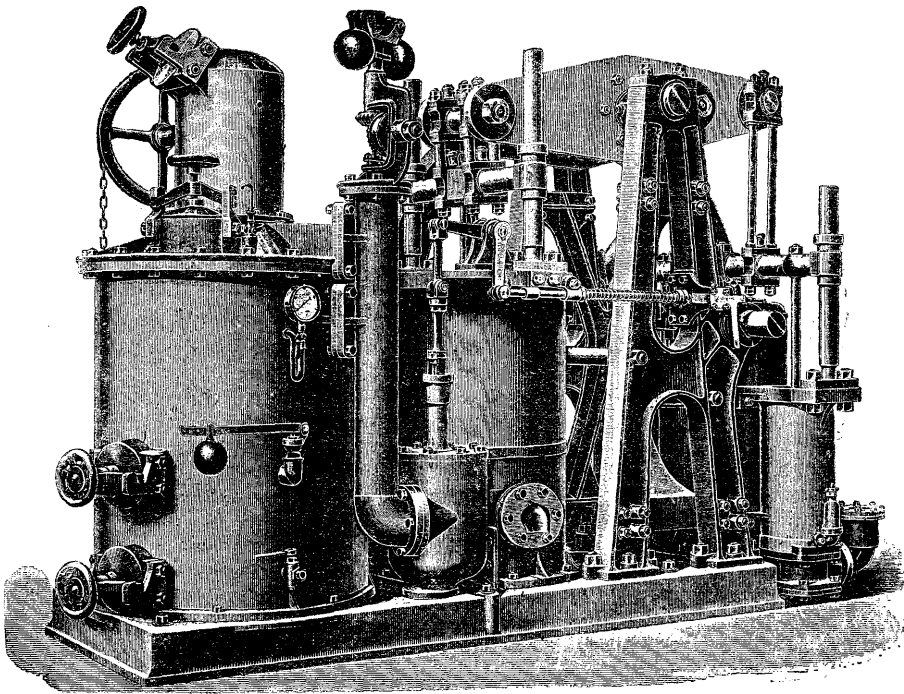


Fig. 74.—Machine Buckett pour bouées, construite par la Pulsometer Engineering Co, de Londres.

Les principales caractéristiques sont les suivantes :

Diamètre des pistons. Pompe 460 ^m/_m

Moteur 610

Course des deux pistons 405

Températures.

» à l'admission 470° à 750°

» à l'échappement 260° à 470°

Tours par minute 61

Encombrement 1^m90 × 1^m60 × 2^m50 de haut.

Poids 6 300 kilogs.

Dépense de coke par cheval heure indiqué : 0 k.10 ; au frein, 1.15 ⁽¹⁾Pression moyenne à la pompe 1 k. 18 par cent. carré au cylindre
moteur 1 k. 30.

Le moteur d'un cheval pèse 1 500 kilogrammes et tient dans un espace de 1^m.35 × 0^m.90 × 1^m.15.

Ces machines sont quelquefois employées en Angleterre par l'administration des phares pour la conduite des sirènes à air comprimé. La fig. 74 représente une machine de 10 chevaux destinée à être montée sur un bateau-boué. L'extrémité de droite du balancier actionne trois pompes : celle du foyer et les deux pompes de la sirène, l'une pour les pressions ordinaires et l'autre, plus petite, pour les cas où il faut comprimer l'air à des pressions exceptionnellement élevées, comme lorsque l'on conserve la réserve d'air pour parer aux brouillards soudains.

On accumule en effet, dans ce but, une réserve d'air à une pression deux ou trois fois plus élevée que la pression de régime.

Machine Brown ⁽²⁾

La machine Brown présente de nombreuses analogies avec celles de M. Bucket : nous en empruntons la description suivante au *Portefeuille des machines* de février 1888.

Le moteur à air chaud (fig. 75 et 76) du système Brown comprend quatre parties bien distinctes : 1° une pompe alimentaire ; 2° un foyer ; 3° un cylindre moteur ; 4° un réservoir ou magasin d'air comprimé.

1° *Pompe alimentaire*. — La pompe alimentaire R se compose d'un cylindre en fonte, fixé au bâti de la machine, ouvert par l'extrémité supérieure pour laisser passer le piston et sa tige. La tige du piston est assemblée avec le piston au moyen d'un boulon qui permet à la tige d'osciller dans le plan de l'axe du balancier. La tige du piston forme bielle et est fixée à l'extrémité du balancier opposée à celle actionnée par le cylindre moteur.

2° *Foyer*. — Le foyer A se compose d'une enveloppe extérieure C, en fonte, et d'une chemise intérieure B, en contact direct avec le combustible en ignition, en briques réfractaires ou en sable réfractaire pilonné fortement et agglutiné par un

1. Jenkin, Calorie engines.

2. Brevet français 125,360 de 1878. — Voir aussi le brevet français de Wenhaus, n° 77729, 4 septembre 1867.

ciment réfractaire légèrement humecté d'eau. Entre l'enveloppe extérieure en fonte et la chemise réfractaire, se trouve un espace vide *e*, formant matelas d'air et empêchant la déperdition de la chaleur. Le chargement du foyer se fait, en marche normale, par la partie supérieure au moyen d'une trémie *E*, à fermeture étanche et à double porte. Deux portes à fermeture étanche permettent d'introduire au moment de l'allumage : l'une *Q*, la *porte du cendrier*, de l'air sous la grille ; l'autre *P*, la *porte du foyer*, du charbon ou du bois, et de nettoyer la grille.

3° *Cylindre moteur*. — Le cylindre *U*, en fonte, repose sur le bâti de la machine ; il est ouvert par le haut pour laisser passer le piston et sa tige. La tige du piston est assemblée avec le piston au moyen d'une traverse qui lui permet

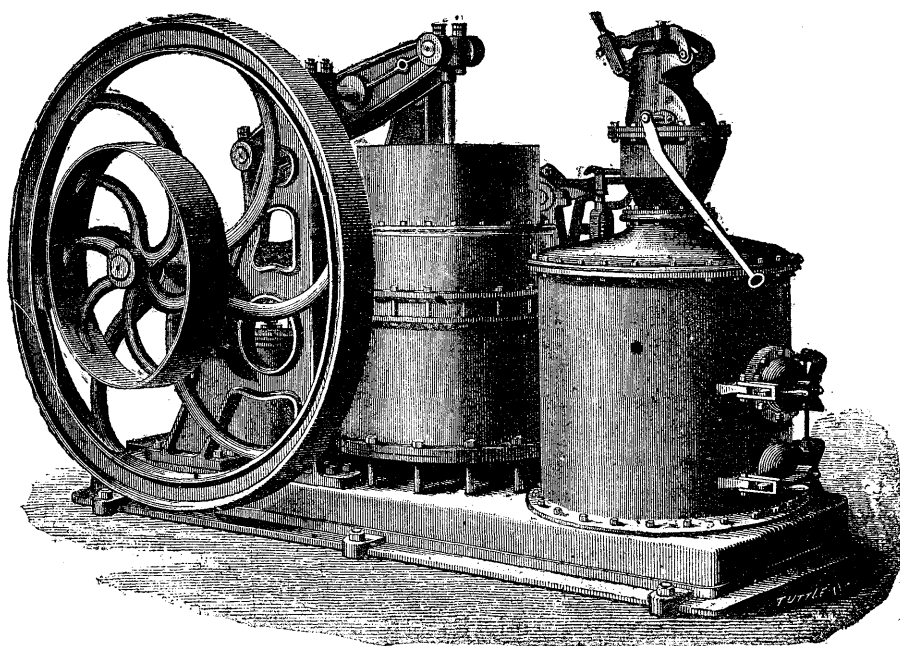


Fig. 75. — Ensemble d'une machine Brown.

d'osciller dans le plan de l'axe du balancier. A la partie inférieure du cylindre se trouve une ouverture qui sert à l'admission et à l'échappement des gaz chauds, dont la distribution est faite dans le cylindre moteur au moyen d'un système de tiroir Corliss placé sur le côté du cylindre, et que l'on règle à la main.

4° *Réservoir*. — Un réservoir *Z* en tôle de fer, parfaitement étanche, pouvant résister à plusieurs atmosphères de pression, et relié au conduit amenant l'air de pompe au moyen d'un tube en fer muni d'une valve à vis.

Marche de l'appareil. — L'air extérieur arrive dans la pompe alimentaire *R* en passant par un tuyau en bois ou en métal *W*, muni de chicanes pour éviter le bruit qui se produirait par l'appel brusque de l'air ; ce tuyau s'emmanche dans une boîte à soupape *r'*. La pompe alimentaire aspirant l'air de l'espace *d*, la soupape est soulevée par la pression de l'air extérieur, et celui-ci vient remplir la capacité

de la pompe; arrivé à l'extrémité de sa course, le piston de la pompe, refoulant l'air, applique la soupape sur son siège, et l'air aspiré est refoulé autour du foyer dans l'enveloppe *e*. En passant par l'ensemble des tuyaux *X*, *X*², *X*³, l'air s'y échauffe légèrement au détriment de la température des parois, et est envoyé par les ouvertures *a*, *a*, sous la grille et dans le foyer même; là, l'air se dilate au contact de la chaleur, il se mélange avec les produits de la combustion : acide carbonique et oxyde de carbone, et aussi avec le peu de vapeur d'eau qui peut se trouver dans le foyer. Le mélange des gaz chauds, qui a acquis une pression

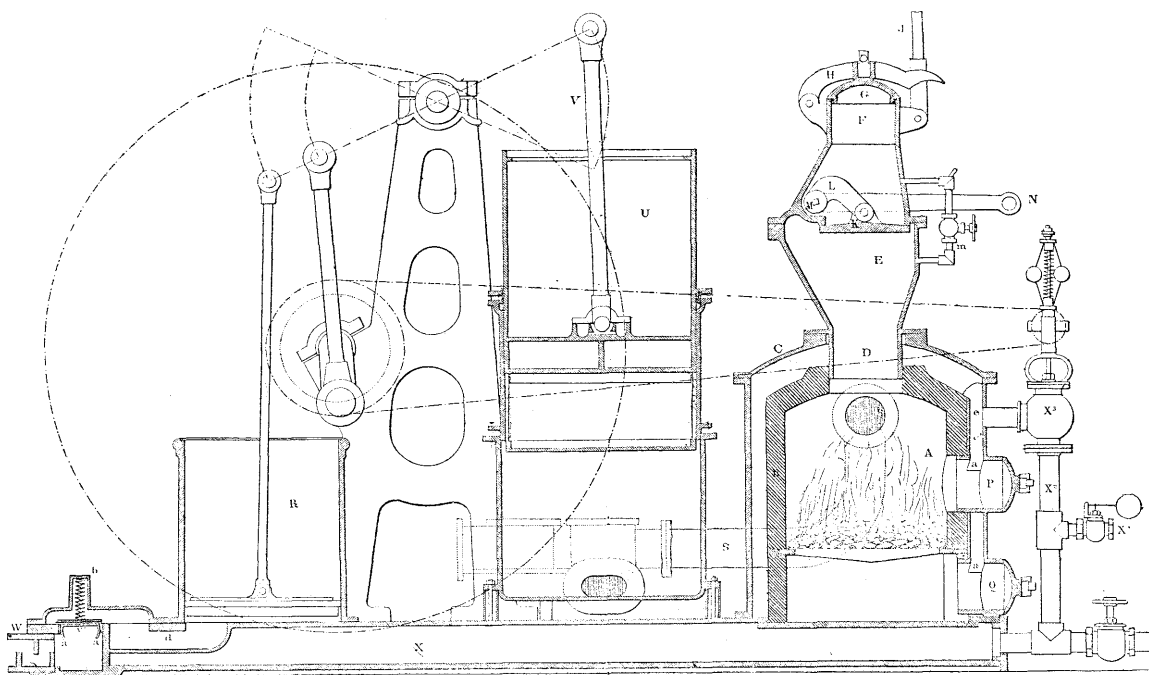


Fig. 76. — *Machine Brown*. — Coupe longitudinale. — R, pompe alimentaire aspirant l'air, par un tuyau W, muni de cloison amortissant le bruit de l'aspiration, au travers de la soupape *v*, à ressort *b*, et le refoulant par DX et *X*₃ au-dessous de la grille, en *ca*. *X*₃ valve d'admission de l'air soumise au régulateur: quand la vitesse augmente, *X*₃ s'étrangle et force une partie de l'air à s'échapper dans l'atmosphère, par *X'*, sans passer au foyer. A, foyer entouré d'une enveloppe d'air comprimé *eaC*, communiquant par le tuyau S avec le cylindre moteur U, et chargé par une trémie DE. F partie supérieure de la trémie, que l'on charge en ouvrant son couvercle G par le retrait du levier L; après quoi, on referme G et on ouvre, par le levier NML, le fond K, dont la bascule est facilitée par l'ouverture du robinet *m*, qui met en équilibre de pression F et E.P.Q. portes de la grille et du cendrier. U, piston moteur articulé directement, par une bielle, au balancier qui commande la pompe R et la manivelle motrice.

effective de 1^k,2 à 1^k,800, sort du foyer par l'ouverture S, pour aller de là dans le tiroir qui le distribue au cylindre moteur. Les gaz, en raison de leur pression supérieure à la pression atmosphérique, soulèvent le piston moteur qui actionne la bielle, le balancier, et par suite la pompe alimentaire et l'arbre moteur muni d'un volant. La distribution des gaz est combinée de manière que la détente commence vers le milieu de la course de piston moteur.

Un modérateur à boules O, actionné par l'arbre moteur de la machine, agit sur la valve *X*³ d'admission d'air dans l'enveloppe du foyer, et règle ainsi la dépense de combustible suivant la force dépensée par la machine.

Lorsque la machine dépense moins de force, la quantité d'air pris dans l'atmosphère est trop considérable ; la valve X^3 étant presque entièrement fermée, l'air envoyé par la pompe dans la conduite X acquiert une pression supérieure à la pression atmosphérique, et telle que cet air soulève la soupape X' , réglée convenablement par un contrepoids, et retourne dans l'atmosphère sans avoir passé par le foyer, et, de là, au cylindre moteur ; il en résulte une perte du travail produit par la machine et une diminution dans le rendement. Pour éviter cette perte du travail produit, on a placé un réservoir étanche en tôle Z , qui reçoit l'excédent d'air qui n'a pu être employé par le cylindre moteur ; cet air comprimé légèrement, est emmagasiné provisoirement pour être envoyé dans le foyer et dans le cylindre moteur dès que la machine ralentit son allure et recouvre en plein la valve X^3 ; car, à ce moment, la pompe alimentaire, dont la vitesse est minima, ne fournit pas assez d'air au foyer. De cette façon, le réservoir Z régularise la marche de la machine en lui fournissant constamment la quantité exacte d'air dont elle a besoin.

Lorsque le moteur est en marche, les portes P , Q , G , sont hermétiquement fermées, la pression du foyer A est la même que dans les espaces E , F , mis en communication par l'intermédiaire du tube en fer m ; la valve K , soumise en-dessus et en-dessous à des pressions égales, tombe. Lorsqu'on veut charger le foyer de coke, on relève la valve K , on ferme le robinet montés sur le tuyau m et on ouvre la porte G ; l'espace F se met en équilibre avec la pression atmosphérique ; on peut alors le charger de coke, car il est indépendant du foyer ; la charge faite, on ferme la porte G hermétiquement ; on ouvre le robinet de la conduite m , la pression du foyer monte dans l'espace F , et la soupape K retombe ; on peut, du reste, faciliter ce mouvement de la soupape K au moyen du levier N ; le coke est ainsi amené dans le foyer.

Les organes de la machine sont fixés sur une seule plaque de fondation en fonte, donnant ainsi une grande stabilité au système.

Pour mettre ce moteur en marche, on commence par faire du feu sur la grille. A cet effet, on fait le chargement par la porte du foyer P , et on ouvre la porte du cendrier Q pour donner de l'air au feu ; dès que le feu est bien allumé, on ferme les deux portes P et Q , et la porte G si elle est ouverte, puis on tourne le volant à bras d'homme pour actionner la pompe alimentaire et provoquer un appel d'air par le cylindre moteur ; au bout de quelques tours, car il faut que l'air s'échauffe en passant au travers du foyer, on obtient une marche régulière du moteur. Si on a de l'air comprimé légèrement dans le réservoir Z , on pourra s'en servir pour mettre en marche ; mais faudra toujours tourner le volant pour provoquer l'aspiration du cylindre moteur.

Ce moteur, à l'exception des autres moteurs à air chaud, n'a pas besoin d'eau pour son fonctionnement régulier : l'air ambiant suffit à refroidir les tuyaux d'admission et d'échappement d'air chaud.

MM. Le Blanc et C^{ie}, concessionnaires du brevet de M. Brown, ont beaucoup perfectionné ce moteur ; ils ont fait de nombreuses expériences sur la composition de l'air chaud, sur le travail produit et sur les pressions de l'air dans les diverses parties de l'appareil, et ils ont relevé des diagrammes sur chacun des cylindres.

Les expériences ont été faites sur un moteur dont les dimensions étaient :

Diamètre du piston moteur	0 ^m ,410
Course	0 ^m ,414
Section	0 ^{m²} ,132
Diamètre du piston de pompe	0 ^m ,307
Course	0 ^m ,462
Section	0 ^{m²} ,047
Longueur du levier du frein équilibré	1 ^m ,505

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

NUMÉROS des expériences	INTRODUCTION	DURÉE de l'expérience	POIDS du coke brûlé	NOMBRE DE TOURS moyen par minute	POIDS AU FREIN	Tempér. moyenne à l'échappement	Trav. du piston mo- teur par tour en kil.	Travail du piston de pompe par tour	Travail disponible par tour	Travail utilisé au frein par tour	Rendement mécanique	Travail moyen du frein par seconde	Coke brûlé par heure et par cheval
			kilog.		kilog.		kilog.	kilog.	kilog.	kilog.		chev.	kilog.
1	$\frac{310}{414}$	»	»	92	12	»	495	318	177	114	0,64	2,3	»
2	$\frac{207}{414}$	»	»	82	15	»	612	358	254	141	0,55	»	»
1	»	»	»	83	17	»	575	355	220	160	0,73	»	»
2	»	»	»	86	17	»	575	368	207	160	0,77	»	»
2	»	3 ^h .00	11	83	17	232°	»	»	»	»	»	»	1,25
3	$\frac{255}{414}$	2.50	10	84	19	248°	592	357	235	179	0,67	2,93	1,05
4	$\frac{310}{414}$	2.10	10	84	19	234°	535	273	262	179	0,69	3,35	0,94
5	$\frac{360}{414}$	3.10	10,5	77	16	251°	424	210	214	151	0,70	2,50	1,21
6	$\frac{300}{414}$	2.00	6,5	86	17	261°	480	255	225	179	0,80	3,45	0,94

Pendant l'expérience n° 2, la soupape de sûreté s'est fréquemment levée, il y a eu, par suite, perte de travail et consommation plus grande de combustible.

La température moyenne de l'atelier était de 20 degrés centigrades.

Les chiffres du tableau montrent que la dépense de combustible (coke) a été très minime, surtout pour un moteur de 3 chevaux de force au maximum. Ces résultats sont supérieurs à ceux d'un moteur à vapeur d'égale force, car la consommation horaire par cheval n'a pas été supérieure à 1^k,500, et elle s'est même abaissée jusqu'à 0^k,800. Nous avons eu l'occasion de constater, en dehors des expériences qui précèdent, une moyenne de consommation n'excédant pas 1 kilogramme par force de cheval et par heure.

Ces machines sont connues, celles de Bucket, quelquefois employée pour le service des phares et des sirènes (1).

Machine Todt (2)

Le fonctionnement de la machine de M. Todt est (fig. 77) des plus simples. L'air chaud arrive du foyer sensiblement à la pression atmosphérique, et par

1. Lumière électrique, 11 nov. 1882, p. 460.

2. Revue industrielle, 25 mai 1381.

la soupape d'admission v , sous le piston d , jus qu'au milieu environ de sa course ascendante.

A partir de ce point, la soupape v se ferme et le piston continue sa course sous l'impulsion du volant, en accomplissant contre la pression atmosphérique un travail négatif qui lui est ensuite à peu près restitué pendant sa descente.

Au retour du piston d , la soupape de communication v' s'ouvre, et laisse l'air passer de d en B' sous le piston-moteur D' .

Les manivelles K et K' étant calées à 180° , et les volumes des cylindres de B

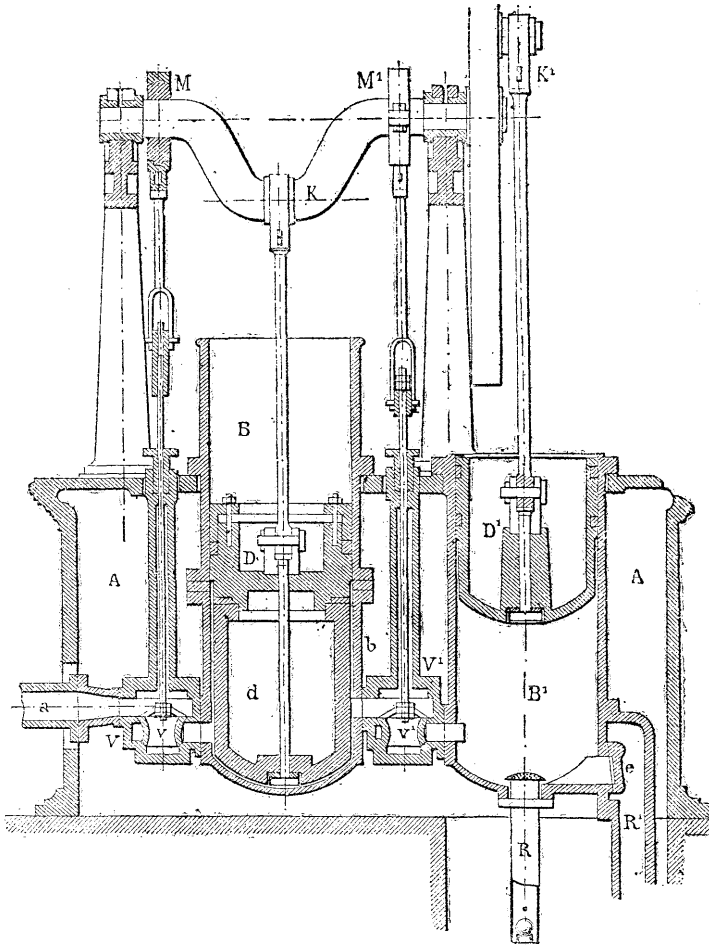


Fig. 77. — *Moteur Todt*. — B, cylindre déplaceur aspirant les gaz du foyer par aVv , jusqu'au milieu de sa course montante, le détenant ensuite, malgré la pression atmosphérique, puis le refoulant, par $V'v'$, au cylindre moteur B' , dont la manivelle est à 180° de la sienne.

R, injection d'eau en B. eR' , échappement final des gaz brûlés. Cette injection d'eau contracte les gaz en B' , et fait descendre D' sous l'action de la pression atmosphérique.

et B' égaux, le volume total de l'air, en B et en B', ne varie presque pas pendant toute la durée de leur communication.

En B' l'air se refroidit sous volume constant, par une injection d'eau en R ; le piston D', descend sous la pression atmosphérique, puis, à la fin de sa course, il refoule l'air dans l'atmosphère par e R.

Il est facile de voir que la détente ou la raréfaction de l'air dans le cylindre B, à la montée du piston d, procure une certaine économie théorique.

Supposons, en effet, que cette détente n'ait pas lieu ; le cycle théorique du moteur serait représenté par le diagramme triangulaire *a. b. c.*, fig. 78, dans lequel on a figuré par *a* l'état $p_1 v_1 \tau_1$ de l'air dans l'atmosphère, lors de son arrivée au foyer.

Le point figuratif *b* représente l'état de l'air au sortir du foyer, lors de son admission en B, à la même pression atmosphérique p , mais à la température absolue τ_2 et au volume v_2 .

c figure l'état de l'air en D, après que l'injection d'eau l'a ramené de $p_1 \tau_2$ à $p_2 \tau_1$, sous le volume invariable v_2 .

En *c*, commence le refoulement de l'air, son retour au foyer ou dans l'atmosphère suivant l'isothermique *c. a*.

Pour amener le point figuratif de *a* en *b*, il a fallu fournir à l'air une chaleur

$$Q_1 = c_p (\tau_2 - \tau_1)$$

Pour lui faire parcourir la droite *b c*, il a fallu lui enlever la chaleur

$$Q_2 = c_v (\tau_2 - \tau_1)$$

et, pour lui faire décrire l'isothermique *c a* une chaleur Q_3 équivalente, à son travail de compression

$$p_2 v_2 \log \frac{v_1}{v_2} = R \tau_1 \log \frac{v_2}{v_1}$$

ou égale à

$$Q_3 = A R \tau_1 \log \frac{v_2}{v_1}$$

La différence

$$Q_2 - (Q_2 + Q_3) = (\tau_2 - \tau_1) (c_p - c_v) - A R \tau_1 \log \frac{v_2}{v_1} \quad (1)$$

représentent l'équivalent calorifique du travail disponible.

Lorsque la détente en B se produit, le cycle du moteur est représenté théoriquement par le diagramme *a b c d*, fig. 79.

En *a b*, l'air passe, comme précédemment, de $p_1 v_1 \tau_1$ à $p_1 v_2 \tau_2$, en recevant du foyer la même chaleur Q_1 .

De b en b' , l'air se détend dans le cylindre B, en passant de $p_1 v_2 \tau_2$ à $p_3 v_3 \tau_3$ suivant une adiabatique (bc), dont la température finale τ_3 est donnée en fonction de τ_2 par la formule

$$\tau_3 = \tau_2 \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^{\gamma - 1}$$

De c en d , l'air tombe, par l'injection d'eau en D, de $(p_3 \tau_3)$ à $(p_2 \tau_1)$ sous le volume constant v_3 , en cédant à l'eau la chaleur

$$Q'_2 = c_2 (\tau_3 - \tau_1)$$

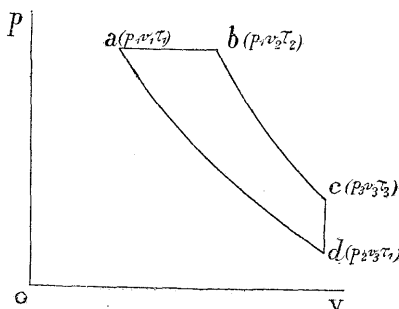


FIG. 79.

De d en a , la compression en D ramène l'air de $p_2 v_3 \tau_1$ à $p_1 v_1 \tau_1$ suivant l'isothermique da , avec une cession de chaleur égale à

$$Q'_3 = A R \tau_1 \log \frac{v_3}{v_1}$$

Le travail théorique sera donc, dans ce cas, égal à

$$Q_1 = \frac{(Q'_2 + Q'_3)}{A} = \frac{c_p (\tau_2 - \tau_1) - c_p (\tau_3 - \tau_1)}{A} R \tau_1 \log \frac{v_3}{v_1} \quad (2)$$

Pour $\tau_1 = 300^\circ$.

$\tau = 600^\circ$ $Q_1 = 71$ calories par kilogramme d'air, et l'on trouve, pour le travail maximum théorique du kilogramme d'air, 2700 kilogrammètres dans le premier cas (formule 1) et 7200 kilogrammètres dans le second (formule 2) avec une détente, en D, de $v_3 = 2 v_2$, pour laquelle $\tau_3 = 600 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{0.41} = 451^\circ$.

Le rendement thermique ou coefficient économique s'élève, en passant du premier cas au second, de 0,09 à 0,24.

$$\frac{Q_1 - (Q_2 + Q_2)}{Q_1}$$

On peut donc recommander le moteur Todt comme une bonne machine à basse pression ou atmosphérique à gelé ouvert et sans régénérateur, convenable pour les petits fours.

Machine Jenkin et Jameson ⁽¹⁾.

La machine de MM. Jenkin et Jameson est des plus intéressantes. Elle constitue en effet, une tentative très rationnelle de réalisation d'une machine Stir-

1. Jenkin « Gas and caloric Engines » — Robinson « Gas and Petroleum Engines » p. 126.

ling avec foyer intérieur (1). Cette réalisation présente à priori de graves difficultés, car une machine Stirling doit, pour ne pas être encombrante, marcher à de hautes pressions — à 10 atmosphères environ, d'après Stirling lui-même — ce qui

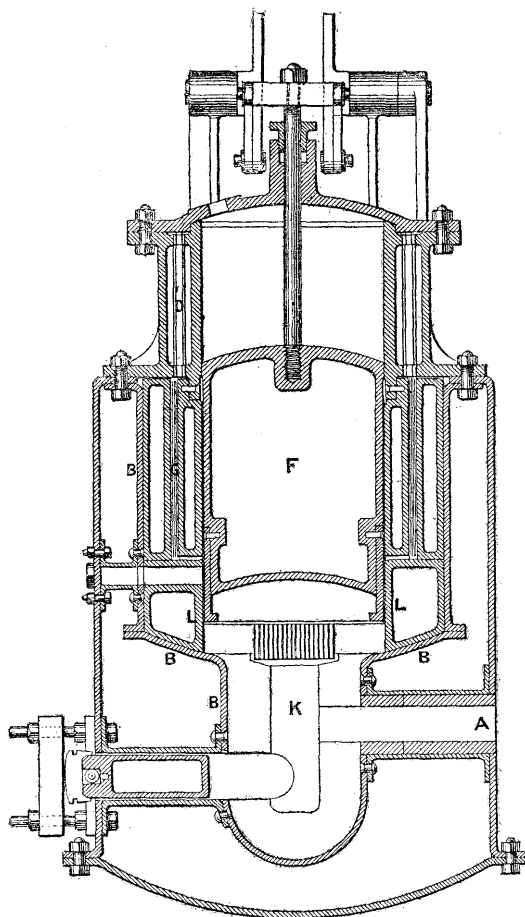


Fig. 80. — *Moteur Jenkin et Jameson.* — Coupe verticale par le cylindre moteur et le foyer F, long piston non conducteur, recevant au bas l'air chauffé au foyer K. G, régénérateur. D, réfrigérant. K, foyer alimenté de coke en A. B, enveloppe de tôle coupant et cloisonnant, comme en L, la garniture réfractaire de la machine, de manière à en diminuer la porosité.

exige presque absolument, pour la compression de l'air, l'emploi de deux pompes en cascade, c'est-à-dire, l'emploi, de mécanismes coûteux et compliqués. En outre, la petite quantité d'air introduite à chaque coup pour être brûlée avec le gaz ou le charbon-moteur est très faible par rapport à la masse totale des gaz en fonction dans la machine, de sorte que la masse combustible est comme noyée

1. Voir aussi le brevet français Babcock, 173,491 de 1886 (anglais 477, et. 478 de 1886).

dans un volume très considérable de gaz inertes, ce qui rend la combustion du charbon ou l'explosion du gaz particulièrement difficile, à moins d'employer, comme dans le moteur à gaz Otto, des dispositifs particuliers, qui ne se prêtent guère aux machines à air chaud proprement dites.

Toujours sous peine d'encombrement, la machine doit être à double effet ; il lui faut alors deux régénérateurs, deux déplaceurs, deux jeux de pompes : bref, tout un attirail compliqué, admissible seulement pour les machines de grande puissance. — Une troisième difficulté, pour ces grandes machines surtout, est celle de l'espace nuisible constituée par la porosité des garnitures réfractaires, dont il faut employer une grande épaisseur pour se défendre même imparfaitement contre le rayonnement. — D'après M. Jenkin, la porosité de ces matières atteindrait en moyenne au moins 30 % de leur volume, ce qui rend l'espace nuisible pratiquement excessif. MM. Jenkin et Jameson réussirent en partie à tourner cette difficulté en séparant la majorité de la garniture du foyer même par une enveloppe en fonte noyée dans le corps de la brique réfractaire.

On reconnaît sur la fig. 80, qui représente la machine de MM. Jenkin et Jameson, les principaux organes de la machine Stirling : en F le déplaceur, en terre réfractaire recouverte de tôles partout excepté au fond qui reçoit la flamme ; en C, le régénérateur, formé d'un faisceau de tiges ; en D le réfrigérant. Le coke introduit en A brûle en K, dans un pot en briques réfractaires enveloppées et consolidées par une tôle B, ayant pour principal objet d'éviter l'accroissement de l'espace nuisible dû à la porosité des briques, qui varie, comme nous l'avons dit, d'après M. Jenkin, de 15 à 60 % de leur volume, relativement très considérable, dans les petites machines surtout.

Cette machine n'a pas donné à MM. Jenkin et Jameson la satisfaction qu'ils en espéraient, mais son étude leur a démontré que l'économie de combustible obtenue par l'application de la combustion intérieure aux machines du genre Stirling est plus que compensée, pour les petits moteurs du moins, par une complication impraticable, et qu'il faudrait, pour en réaliser l'application aux grandes machines, dépenser en essais préparatoires d'un succès douteux des capitaux considérables et un temps très long (').

Moteur Holt (').

Ce moteur est remarquable par sa grande simplicité : sa marche est la suivante (fig. 81) :

Lorsque le piston B arrive en haut de sa course, l'air froid pénètre dans le cylindre par H. Lorsqu'il redescend, le piston refoule cet air dans le régéné-

1. Jenkin « Gas and caloric Engines » p. 30. (Voir, à l'annexe, le brevet Jenkin et Jameson).

2. Brevet anglais 16,250, 10 déc. 1884.

rateur D, dont une partie de l'air chaud est en même temps refoulé, suivant F. K. G, dans le foyer E, par cet air froid qui prend sa place, s'échauffe et repousse le piston, qui effectue ainsi sa course motrice. Lorsque le piston dépasse les

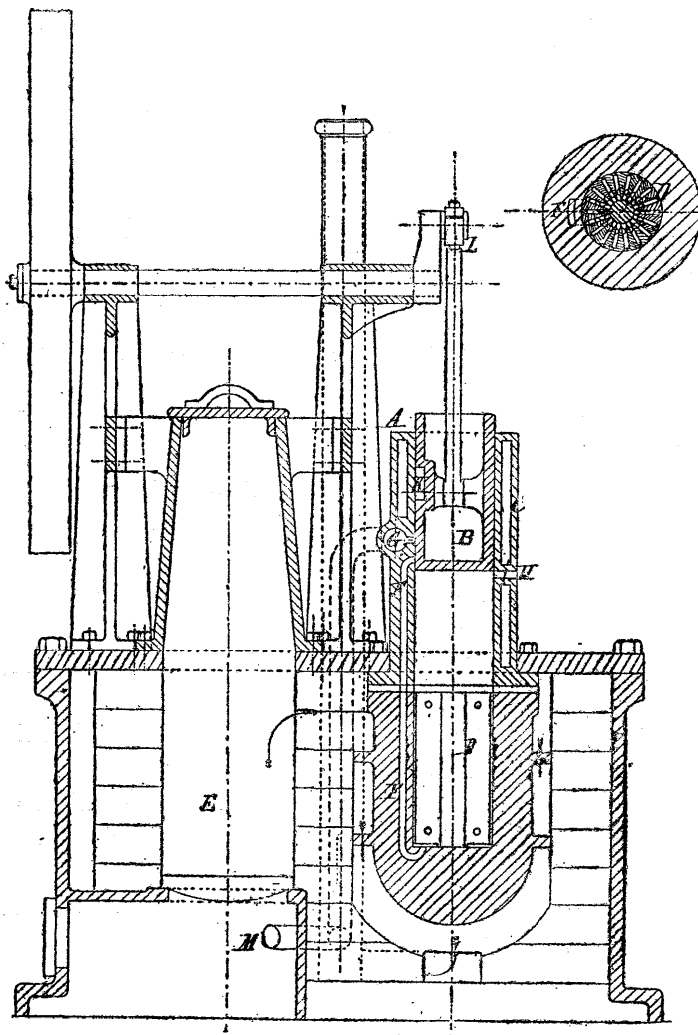


Fig. 81. — Moteur Holt. — B. piston moteur pourvu d'une gorge K, ce piston aspire d'abord l'air atmosphérique par H, puis il comprime cet air dans le régénérateur D, jusqu'à ce que, sa gorge K venant à recouvrir les orifices des canaux F et G, il refoule, par G M, au foyer E, cet air, qui s'y dilate, revient au cylindre par le régénérateur et repousse le piston, puis s'échappe par H.

ouvertures F et G, une autre partie d'air chaud pénètre dans son cylindre puis l'échappement s'opère par H, et l'air froid est de nouveau admis au cylindre par cet orifice, sous l'action du vide produit au cylindre après l'échappement.

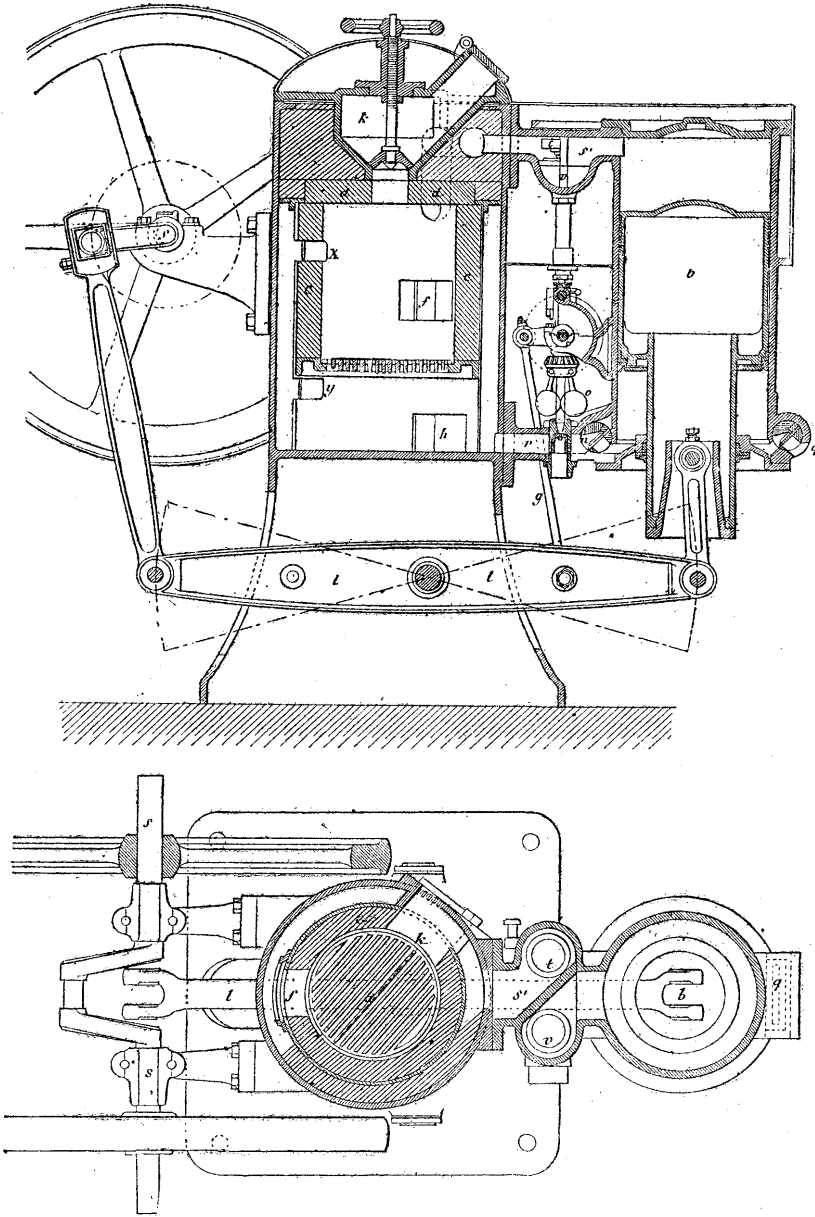


Fig. 82 et 83. — *Moteur Holdorf et Bruckner*. — Coupe verticale longitudinale et plan — coupe par le foyer. — *b*, piston moteur différentiel aspirant l'air par *q* et le refoulant, par *nr*, partie au-dessus de la grille, en *x*, partie au-dessous, en *y*. *s*' amenée des gaz du foyer au-dessus du piston *b* par la soupape d'admission *t*. *v*, soupape d'échappement. *o*, régulateur commandant une soupape *p*, qui, en cas où le moteur va trop vite, laisse une partie de l'air comprimé sous *b* s'échapper directement dans l'atmosphère sans passer par le foyer. *gm*, transmission du balancier *q* au régulateur *o*.

Moteur Holdorf et Bruckner (1).

Le fonctionnement de ce moteur très simple est le suivant (fig. 82 et 83). Lorsque le piston différentiel *b* monte, il aspire par le clapet *q* de l'air froid, qu'il refoule ensuite, lors de sa descente, par *n. p. x. et j.* au-dessus et au-dessous de la grille du foyer. Du foyer, cet air et les gaz brûlés passent, par *s' t*, au-dessus du piston *b*, dans le cylindre moteur, d'où ils s'échappent ensuite, par *v*, dans la cheminée. Le régulateur agit en laissant échapper en *p* l'air refoulé par la pompe quand la machine s'emporte.

Moteur Bénier (2).

La machine de M. Bénier, construite par la *Société Lyonnaise*, attirait vivement l'attention à l'Exposition de 1889; c'est assurément l'une des meilleures et des plus répandues parmi les machines à air chaud actuellement employées.

Nous en empruntons la description suivante au Portefeuille-Economique des machines de décembre 1888.

Les figures 84 et 85, représentent en élévation et en plan l'ensemble du moteur Bénier.

Le cylindre moteur est vertical et à simple effet; le mouvement du piston est transmis à un balancier qui, au moyen d'une bielle pendente, fait tourner l'arbre à manivelle portant le volant et les organes commandant la distribution. Un levier vertical oscillant *A* est actionné par l'arbre moteur au moyen d'une petite bielle. Ce levier commande le piston horizontal *B* de la pompe de compression. Ce piston refoule l'air sous la grille du foyer installé au-dessous du piston moteur. La pompe à air est à simple effet.

Fig. 84 et 85, p. 293. — *Moteur Bénier de 9 chevaux*. — Elévation et plan (échelle $\frac{1}{20}$). *A*, balancier commandant par son milieu la pompe à air *B*. *C*, tiroir de distribution, avec ressorts de rappel *E*, commandé par le balancier *D*. *F*, régulateur commandant par *GHI* l'admission de l'air comprimé de la pompe au foyer. *O*, draguette puisant des morceaux de coke dans le bac *N*, et les déversant dans la trémie d'alimentation du foyer. *Q*, transmission commandant, par le plateau *R* et le levier *S*, le tiroir distributeur du foyer.

Le tiroir de distribution d'air comprimé *C* reçoit le mouvement d'une came calée sur l'arbre à manivelle à l'aide d'un levier articulé *D*, dont l'extrémité supérieure porte un galet roulant sur la came. Des ressorts à boudin *E* rappellent le tiroir et assurent ainsi le contact permanent du galet du levier *D* avec la came.

Le régulateur à force centrifuge *F* est actionné par l'arbre moteur à l'aide d'une petite courroie.

Le manchon du régulateur est relié à un levier articulé *G* qui soutient une tige verticale articulée elle-même sur un disque *H*. Lorsque le manchon du régulateur monte, le plateau *H* est entraîné par le levier *G* et, au moyen de la tige *I*, terminée par une petite manivelle, ferme plus ou moins un papillon posé sur le conduit

1. Brevet français 107,603, 9 avril 1875.

2. Brevets anglais 16,131 de 1884, 1,262 de 1887.

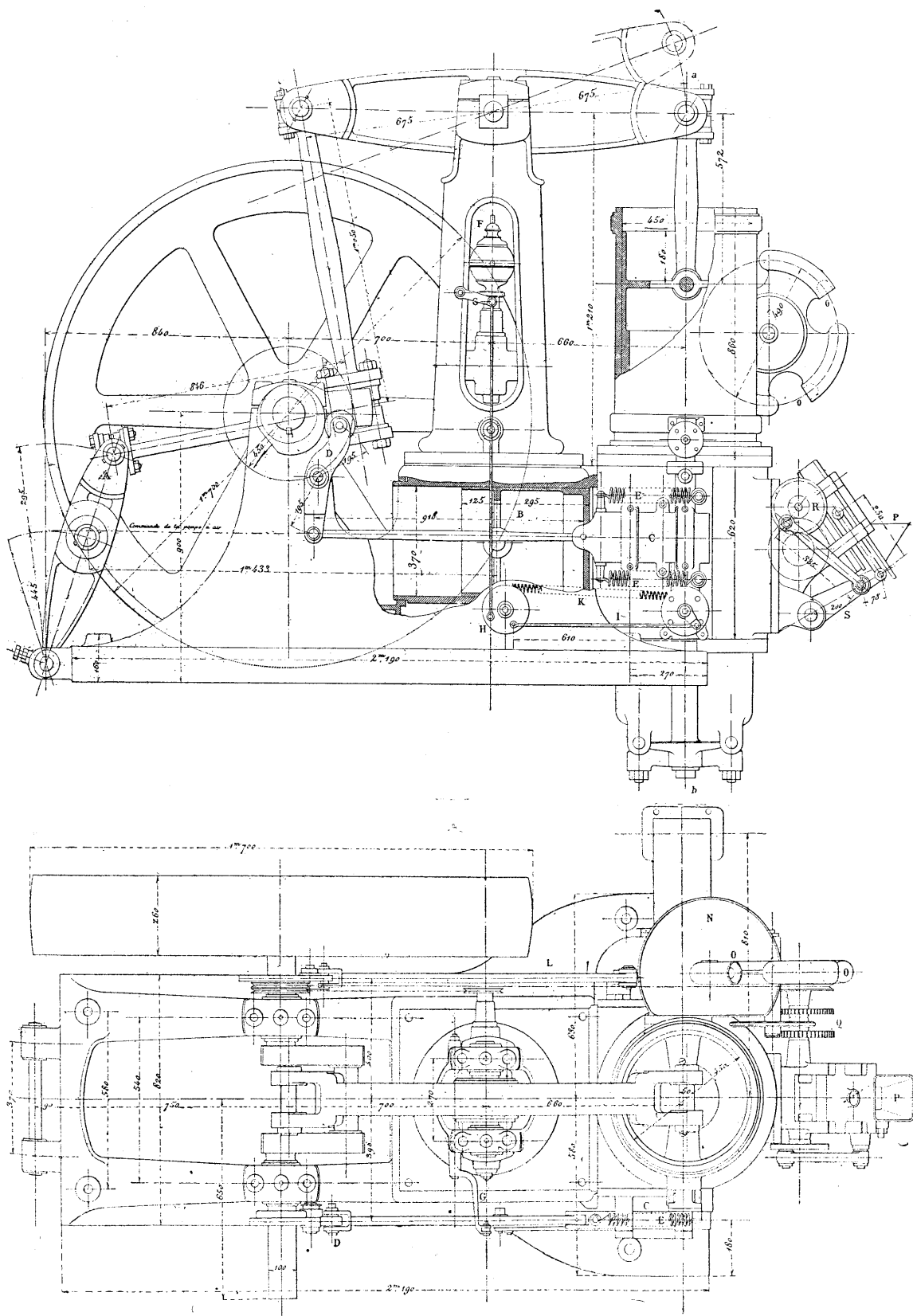


Fig. 84 et 85. — Moteur Bénéier de 9 chevaux.

d'air comprimé allant du tiroir de distribution au foyer. Un ressort à boudin K tend constamment à ramener le papillon à sa position ouverte.

L'échappement se fait par le soulèvement d'un clapet M (figure 86) qui est produit au moment où le piston commence à descendre. Une came calée sur l'arbre à manivelle fait soulever le clapet au moyen d'un jeu de leviers L.

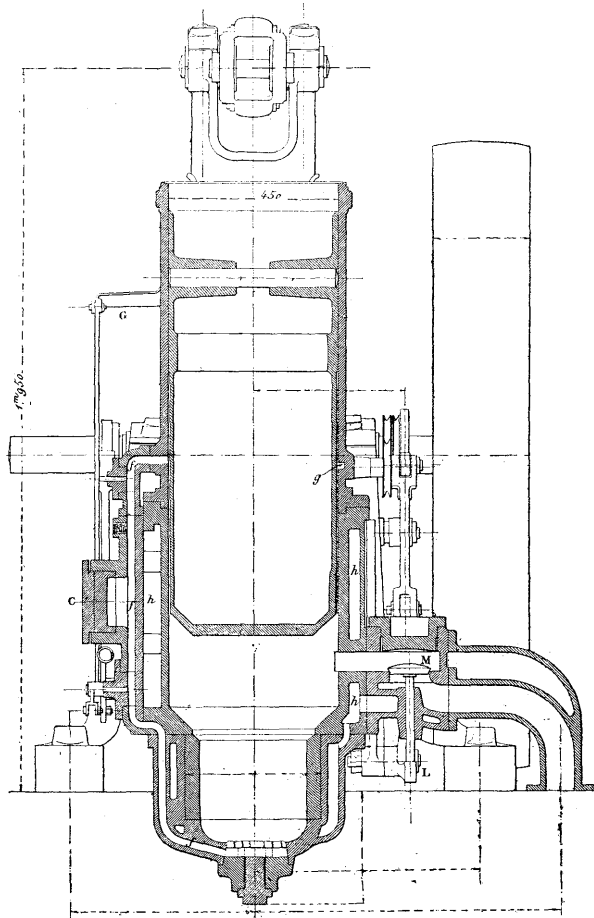


Fig. 86. — *Moteur Bénier*. — Coupe *ab* (fig. 84). *h*, circulation d'eau. *f*, conduit mettant l'orifice d'admission d'air comprimé *d* (fig. 89) en communication avec le bas du foyer et avec la *chasse d'air g*, au-dessous de la partie alésée du cylindre. *M*, soupape d'échappement commandée par le levier *L*.

Le foyer soufflé devant être hermétiquement clos pendant l'ascension du piston, l'alimentation du combustible est assurée mécaniquement au moyen d'un tiroir plan. Le coke, cassé en petits morceaux, est versé dans une trémie N. Une roue en fonte portant quatre petits augets O, actionnée par l'arbre principal au moyen d'une courroie, tourne lentement et traverse la trémie N ; chacun des augets O se charge d'un ou deux petits morceaux de coke, et vient déverser dans la trémie P du tiroir de distribution du coke. Ce tiroir reçoit un mouvement lent à l'aide d'une série d'engrenages Q, qui commande un plateau R. Le plateau, par une courte bielle,

fait osciller un levier S à l'extrémité duquel est articulée la tige du tiroir distributeur du coke.

Les détails de ce tiroir sont donnés par les figures 90, 91 et 92. Les morceaux de coke, tombés dans la petite trémie fixe P sont pris par le tiroir T lorsque son

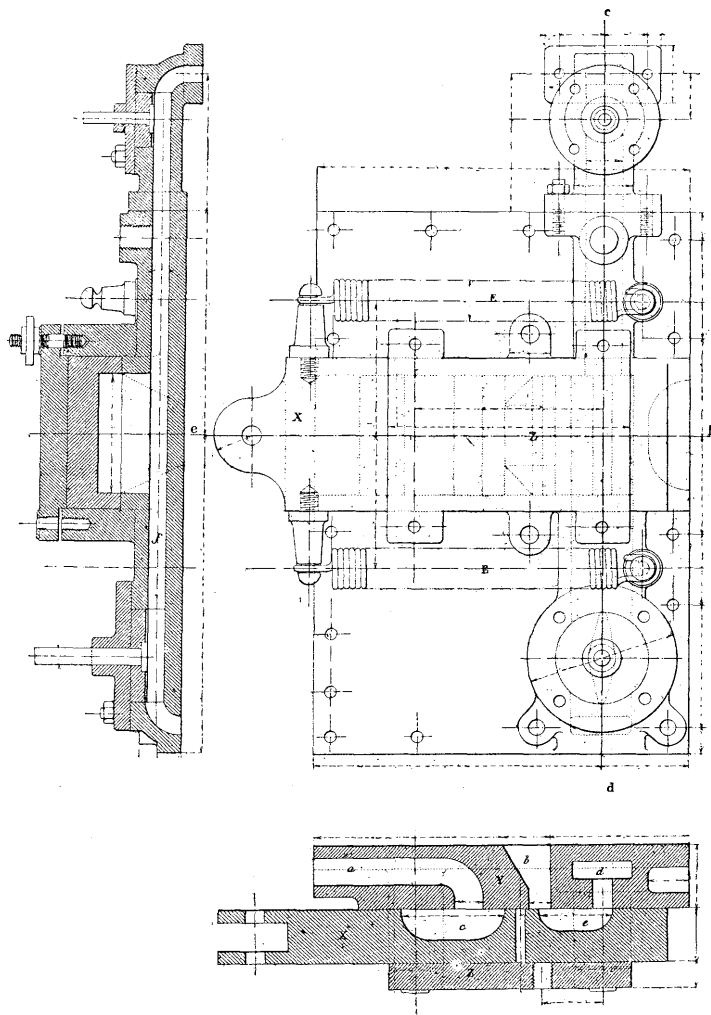
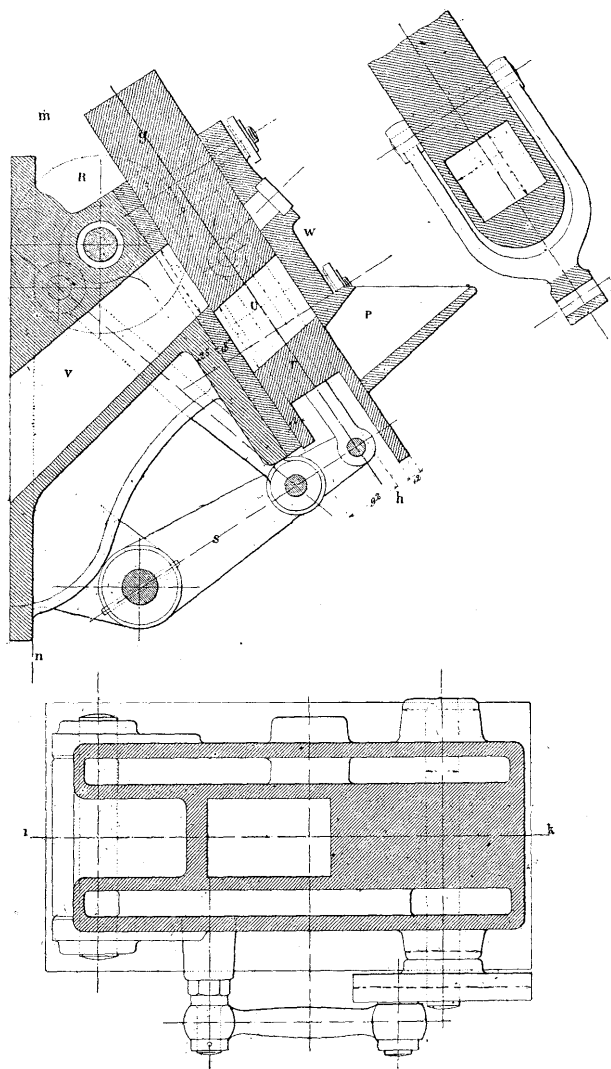


Fig. 87, 88 et 89. — Moteur Bénier. — Détail du tiroir de distribution (échelle $\frac{1}{10}$), élévation et coupes *cd*, *ef*. — X, tiroir à ressort de rappel E. Z, contreplaque du tiroir. Y, glace du tiroir. *b*, lumière mettant alternativement la pompe en communication, par *a c b*, avec l'aspiration, puis, par *b c d*, avec le refoulement au foyer.

évidement U vient correspondre au pied de la trémie dans le mouvement de descente. Le coke est entraîné dans le mouvement inverse du tiroir et tombe dans le foyer lorsque l'évidement U est arrivé à hauteur du couloir de chute V. Une plaque fixe W obture à ce moment l'évidement U et empêche ainsi toute communication du foyer avec l'atmosphère.

Le tiroir de distribution d'air comprimé est représenté en [détail par les figures 87, 88 et 89. Il consiste en une plaque de fonte X portant les évidements nécessaires et manœuvrant entre la glace verticale Y et un plateau Z destiné à maintenir le tiroir contre sa glace.



Eig. 90, 91 et 92. — Détail du distributeur du foyer, coupes *mn* et *ik*. — T, distributeur mu par R S, recevant en U le coke de la trémie P et le portant au foyer V sous la contreplaque W.

L'air atmosphérique est aspiré par la pompe à air lorsque la lumière *b* est mise en communication avec le canal *a* par la coquille *c* du tiroir. Lorsque cette communication est interrompue par le jeu du tiroir, la compression commence et se continue jusqu'au moment où le tiroir met en communication les lumières *b* et *d*

par la coquille *e*. L'air comprimé arrive de la pompe à air et se rend, portion sous la grille, en suivant la partie inférieure du canal *f*, et portion dans la rainure *g* creusée dans le cylindre, par la partie supérieure du même canal.

L'air comprimé arrive en *g* tout autour du piston, refroidit cet organe ainsi que le cylindre, et rejette sur la grille les poussières qui tendraient à s'élever. Le piston qui est très long, est tourné, à sa partie inférieure, à un diamètre un peu inférieur à l'alésage du cylindre, de façon que la partie frottante de ces deux organes soit hors de la région que peut occuper l'air chaud.

La partie inférieure du cylindre, au-dessus du foyer, est rafraîchie par un courant d'eau qui circule dans un évidement annulaire *h*.

Deux ressorts à boudin *E*, fixés par une extrémité au bâti et par l'autre au tiroir *X*, ramènent le tiroir à sa position normale, qui est celle représentée figure 88.

La machine de 9 chevaux pèse environ 4,200 kilogrammes ; elle occupe une surface de 3^m,20 en longueur sur 1^m,40 de largeur, et une hauteur de 2^m,30.

Un assez grand nombre de moteurs Bénier sont actuellement en service. Nous avons recueilli à Paris, auprès d'un industriel qui a fait installer un moteur à air chaud, il y a plus de deux ans, des renseignements pratiques sur son fonctionnement.

Ce moteur, d'une force nominale de 5 chevaux, consomme environ 50 kilogrammes de coke de four lavé, par journée de onze heures de travail. Le graissage à l'huile minérale coûte de 0 fr. 40 à 0 fr. 50 par jour. Ce moteur donne un service régulier sans occasionner d'autre arrêt que celui nécessaire au nettoyage de la grille. Cette opération se fait une fois par jour, et dure environ dix minutes.

Moteur Genty (1)

La machine de M. Genty, ingénieur civil des mines, se distingue par un ensemble rationnel et par de nombreux détails de construction ingénieux.

Le cycle du moteur est le suivant (fig. 91, 92 et 93) :

L'air aspiré dans l'atmosphère par la pompe *A* est refoulé par le tuyau *B* dans le réservoir d'air comprimé *R*, d'où il passe, par *V T*, dans les tubes *E* d'un régénérateur ou réchauffeur, qui l'amènent au distributeur *D* d'admission au foyer du cylindre moteur *F*. Après avoir agi dans le cylindre-moteur, l'air s'en échappe par la soupape *G* et le conduit *H* autour des tubes du réchauffeur *E*.

Le foyer n'a pas de grille : il est évasé en *Y*, au bas, et contracté en *F*, vers le milieu de sa hauteur, de manière que le charbon amené par la trémie *U* y prenne de lui-même le talus indiqué par la figure 92. Ainsi qu'on le voit, la soupape d'admission *D* — fig. 94 — distribue l'air, par 24 et 26, à la fois au-dessous et au-dessus du combustible. Il est essentiel que la masse totale du combustible soit toujours parfaitement pénétrable à l'air amené par le tuyau 24, et jamais trop encombrée de scories : on atteint ce résultat, d'après M. Genty, par la forme de son foyer, pourvu d'ailleurs d'une porte de nettoyage qui permet d'en enlever les scories à chaque arrêt du moteur.

1. Brevets anglais 600 de 1888, 14,927, de 1889.

Le chargeur est constitué par un cylindre percé d'une trémie O (fig. 95 à 97) que l'on tourne au moyen de la manivelle M; le chargement s'opère en amenant ainsi l'orifice de la trémie pleine de coke devant celui du conduit U. Une vitre 39 ferme l'autre extrémité de O, et permet de surveiller l'allure du foyer. La plaque réfractaire α , qui ferme habituellement U, protège le chargeur contre

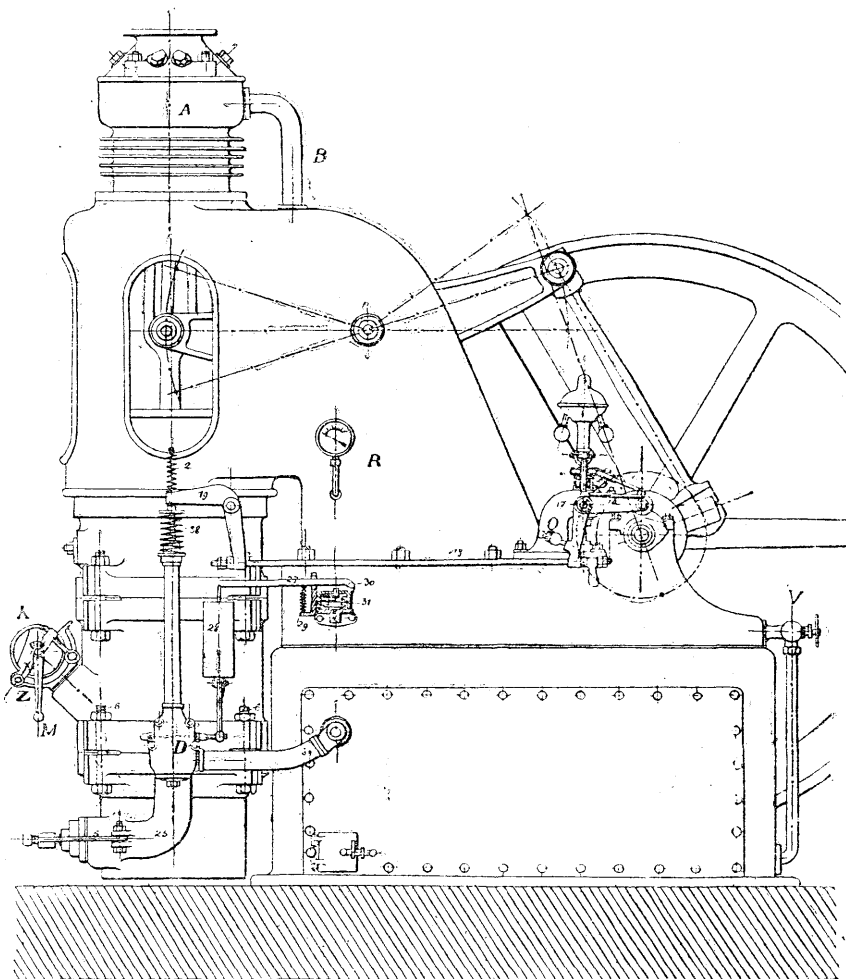


Fig. 91 à 93. — *Moteur Genty*. — Légende des figures 91, 92 et 93. — A, pompe à air refroidie par des ailettes, refoulant par B dans le réservoir d'air R. O, régulateur (voir fig. 101), commandant, par la transmission 18, 19, la soupape d'admission D. 31, membrane régulatrice auxiliaire (fig. 94). M O U chargeur du foyer (fig. 95). X, foyer à talus naturel Y. s, porte de nettoyage à boulon autoclave mobile 25. P, piston moteur protégé au bas par un fond réfractaire 7 et en haut par une chasse d'air comprimé 9 (fig. 95), alimentée par le tuyau flexible t. G, soupape d'échappement renvoyant les gaz brûlés, par H, autour des tubes réchauffeurs E, traversés par l'air refoulé de la pompe au foyer. R, réservoir recevant l'air refoulé par la pompe A, et le conduisant, par $\varnothing T$, aux tubes du réchauffeur.

l'action directe des flammes. Pour retirer le chargeur en cas de réparation, il suffit de déclancher les biellettes 21, mobiles autour de 22, et qui maintiennent les montants N de l'axe du chargeur : le chargeur tombe alors avec ces montants autour de l'axe z.

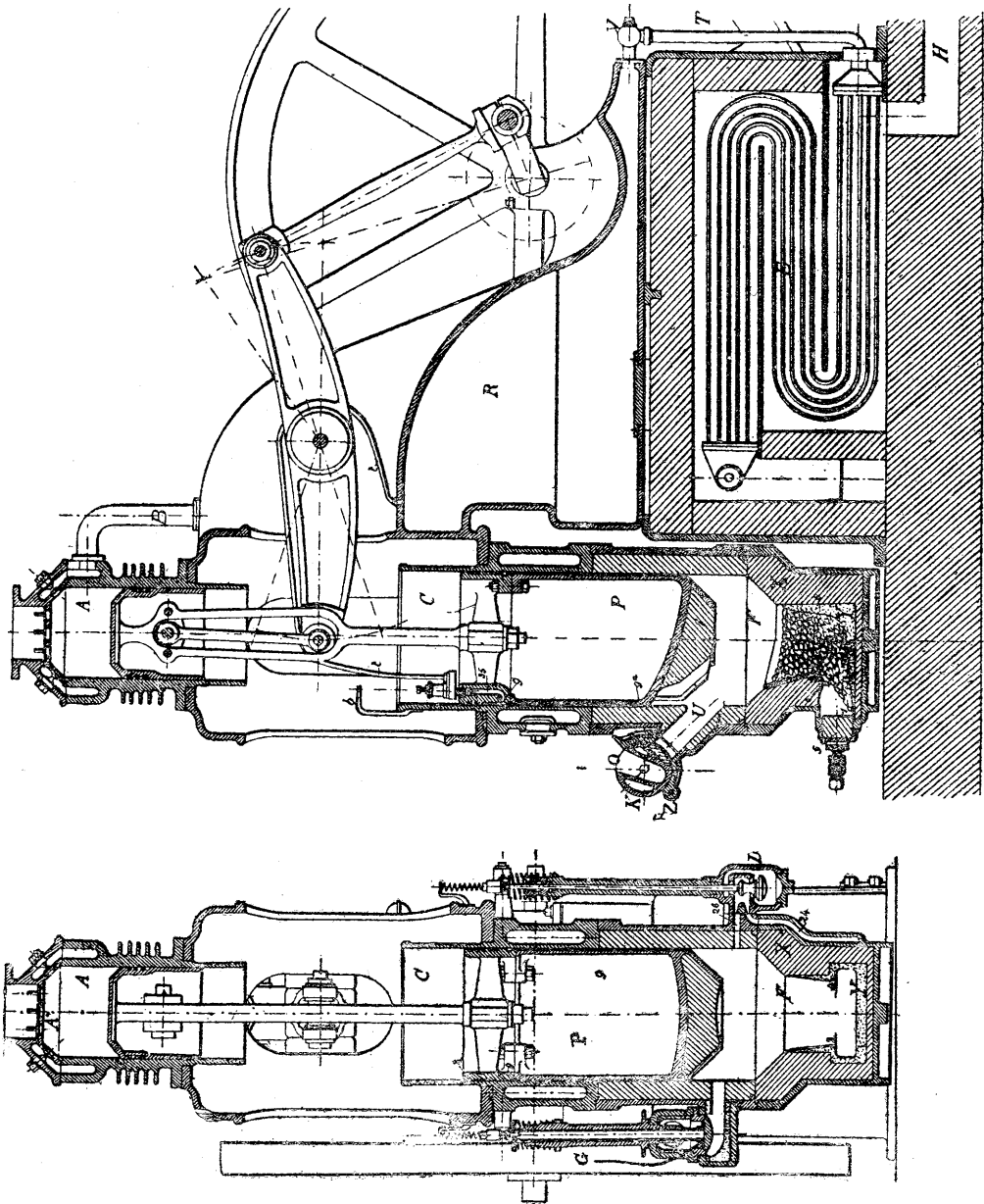


Fig. 92 et 93. — *Moteur Genty*. — Coupe longitudinale et coupe transversale par le foyer.

Le foyer est aussi très accessible aux réparations : il suffit, pour le démonter, de dévisser les écrous *c. c.* (fig. 91).

Le piston, garni au bas de terre réfractaire, à ses segments protégés des poussières du foyer par une chasse d'air amené en *q*, du réservoir d'air comprimé R, par un tuyau flexible *t*. L'ouverture 35, qui mène à la garniture du piston, est

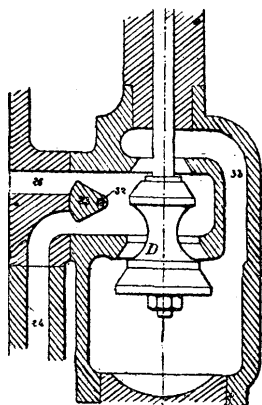


Fig. 94. — Soupape d'admission communiquant par 33 avec l'air comprimé du réchauffeur, et, par 24 26, avec le bas et le haut du foyer, en proportions réglées par la valve intermédiaire 23, dont l'axe est commandé par le levier 28 de la membrane 31 (fig. 31).

fermée, fig. 99, par un piston *p*, pressé par un ressort, qui se lève et laisse pénétrer la chasse d'air dès que les gaz venant du foyer atteignent en *q* une certaine pression réglée par le ressort. Lors de l'échappement, le piston redescend et ferme la chasse d'air, sous l'impulsion de la butée *b*, fig. 92.

La régularisation s'opère au moyen du dispositif représenté par les figures 100 à 103, qui agit sur la soupape d'admission D. La tige 18 de cette soupape est commandée par un renvoi 17-14, dont les bras 14, 14, portent un galet *g*, actionné par une came à gradins *c*. Le régulateur déplace le galet *g* sur son axe 16, par les renvois *l* et *r*, de

de manière à la faire porter, suivant la vitesse du moteur, sur différents gradins de la came *c*. On voit, d'après le détail de cette came (fig. 98) que ses gradins

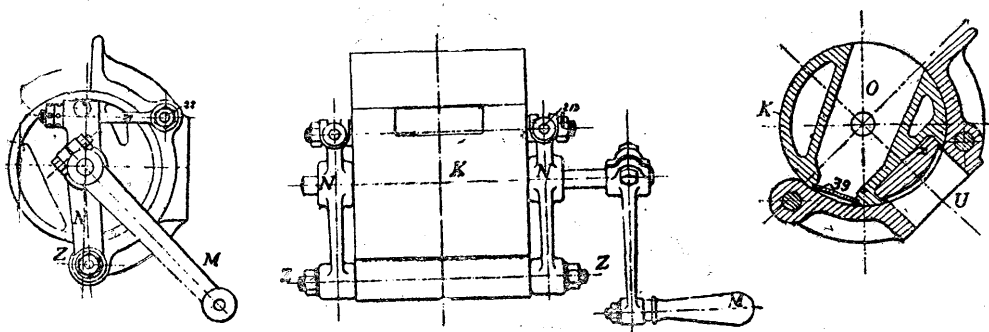


Fig. 95, 96 et 97. — Détail du chargeur du foyer. Vue par bout, élévation et coupe transversale. U, orifice de chargement où se déverse la pelletée O, quand on la tourne par la manivelle M. 39 regard en verre. 21, boulons qu'il suffit de faire basculer autour de leurs axes 22 pour que le chargeur K tombe en main autour de l'axe Z.

sont pourvus de plans inclinés latéraux *d c f g* disposés de manière à guider le galet *g* sur le gradin vers lequel l'incite l'action du régulateur ; action non brutale, mais élastique, grâce à l'interposition du ressort *r'*, entre les

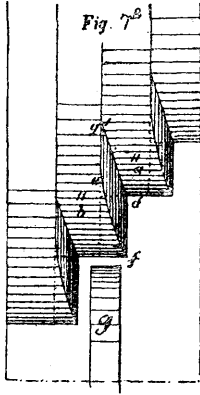


Fig. 98. — Détail des cames et du galet *g* du régulateur.

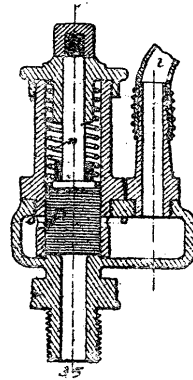


Fig. 99. — Soupape *P* de la chasse d'air 9 (fig. 92). Cette soupape se lève sous la pression du gaz dans le foyer, réglée par son ressort 10, et laisse alors l'air comprimé pénétrer par 10035 autour du piston moteur. A la montée, cette soupape se ferme par sa butée sur le taquet *b* (fig. 92).

leviers *r* et *l*. La figure 91 montre clairement comment la tige 18 actionne celle de la soupape d'admission *D* au moyen du renvoi 19, constamment rappelée par le ressort 38. La soupape d'admission admet ainsi, en étranglant son orifice, d'autant moins d'air au-dessus et au-dessous du foyer que la machine s'emporte d'avantage. Il résulte en outre, de cet étranglement, une augmentation de la pression de l'air dans le réservoir *R* et sous la membrane 31, (figure 91), dont le levier 27 actionne, par sa tige à contrepoids 28, la valve, déviatrice 23 (figure 94), de manière à diminuer la proportion de l'air admis sous le foyer par le conduit 24 ; cette proportion augmente au contraire quand la pression de l'air baisse en *B* par suite d'un ralentissement du moteur.

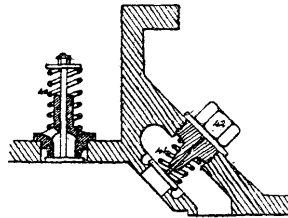


Fig. 100. — Soupapes d'aspiration et de refoulement de la pompe à air *A*.

Le détail des clapets d'aspiration et de refoulement de la pompe A représenté par la fig. 104 montre qu'ils sont parfaitement accessibles.

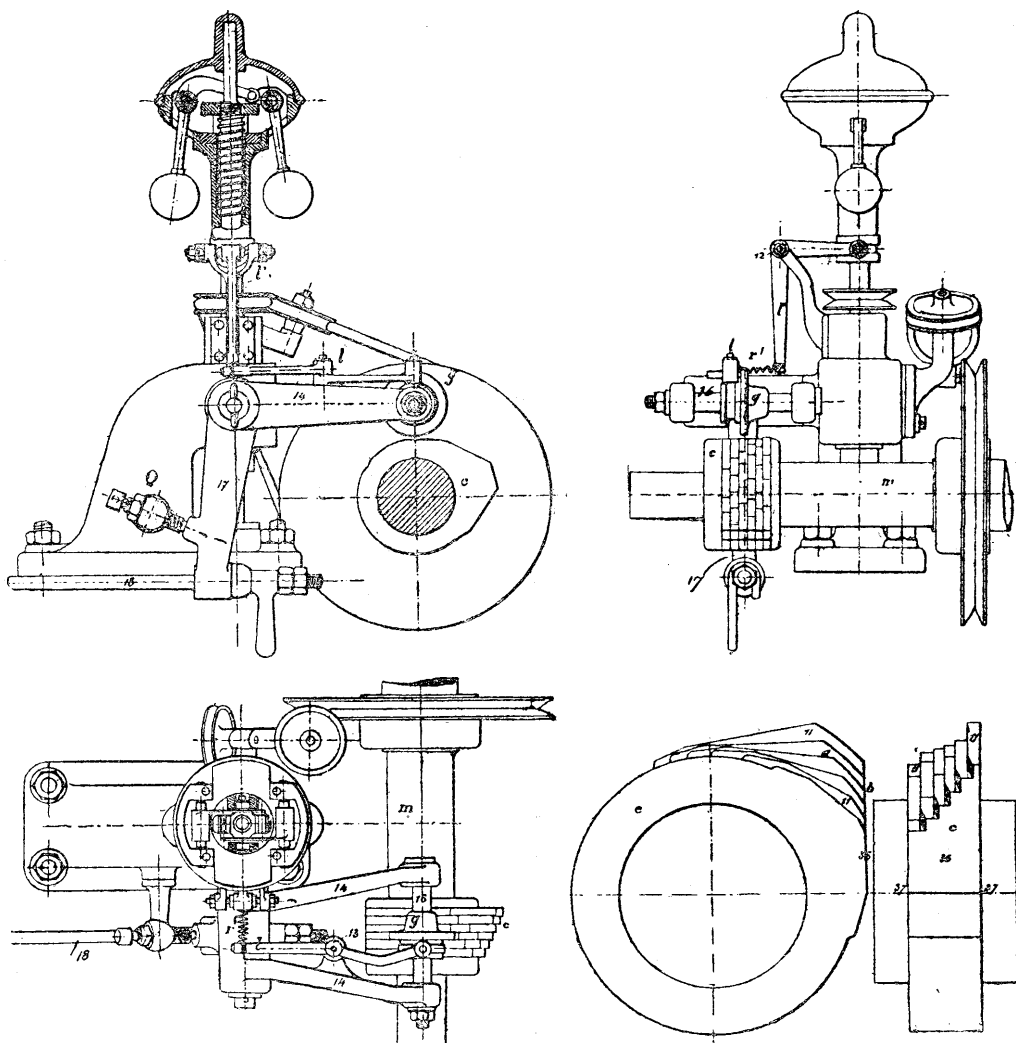


Fig. 101 à 104. — Régulateur et détail de sa came *c*. *l'*, levier du régulateur, articulé en 12 attaquant par le ressort *r* le levier *l*, articulé en 13, et dont l'extrémité porte le galet *g*, fou sur son axe 16. Ce galet *g*, ainsi amené sur l'un ou l'autre des gradins *b* de la came *c*, actionne, par 14, 17 et 18, la soupape d'admission D (fig. 94).

ANNEXE

Utilité des Régénérateurs.

Rankine a été l'un des premiers à caractériser nettement l'utilité des régénérateurs (1). Voici comment il s'exprime à ce sujet dans son célèbre « *Manuel de la machine à vapeur* » aux pages 363, 364, de la traduction française (2).

« Entre les mêmes limites données de températures, le rendement d'une machine thermique est maximum quand toute la réception de la chaleur se fait à la température la plus élevée, et tout le rejet à la plus basse. Pour remplir exactement cette condition du rendement maximum, entre deux températures données, l'élévation de température du fluide doit s'accomplir entièrement sans compression (mécanique), et son abaissement sans dilatation ; opérations en général impossibles à cause des énormes volumes qu'elles imposeraient aux cylindres.

« Cette difficulté est presque entièrement évitée par la méthode suivante, qui permet d'abaisser et d'élever alternativement la température du fluide avec une faible dépense de chaleur. Elle fut inventée, en 1816, par le révérend *D. Robert Stirling*, perfectionnée ensuite par *M. James Stirling*, le capitaine *Ericson* et d'autres.

« Le fluide dont il faut abaisser la température passe au travers des interstices d'un appareil appelé économiseur ou régénérateur, formé d'un grand nombre de feuilles de métal ou d'un autre corps conducteur, ou par des tamis de toiles métalliques exposant une grande surface sous un faible volume. L'économiseur s'échauffe en refroidissant le fluide. Quand il faut relever la température du fluide, on lui fait retraverser l'économiseur en sens contraire ; il lui reprend en partie la chaleur qu'il a précédemment cédée.

« Il est impossible d'accomplir cette opération absolument sans perte de chaleur. Dans quelques expériences de *M. Siemens* sur l'air, la perte de chaleur par course, fut d'à peu près le $\frac{1}{20}$ de la chaleur alternativement cédée puis enlevée à l'air. Dans la machine à air chaud du navire *Ericson*, cette perte était d'environ 0,10. »

Voici comment *M. Haton de la Goupillière* s'exprime au sujet des régénérateurs dans son *Cours de machines* (vol. II, p. 627, 628) :

« On peut se figurer clairement l'intervention du régénérateur. Jusqu'ici, une fois que le fluide était soustrait à l'action du calorifère, sa température tombait de t_1 à t_2 dans une enceinte incapable d'exercer sur lui aucune influence. Actuellement, pour opérer le refroidissement, on fait intervenir une paroi active, qui soutire à l'air, suivant une loi quelconque, les quantités de chaleur capables de déterminer l'abaissement progressif de la température.

1. « *Air Engines* ». *British Association* sep. 1854. *Edinburg Philosophical Journal* janvier 1855.

2 On se faisait, avant la vulgarisation des théories de la thermodynamique, les idées les plus étranges sur les régénérateurs, que leur inventeur lui-même, *Stirling*, présentait un peu à la manière d'une sorte de mouvement perpétuel (*Inst. of Civil Engineers* London 1845 et 1852). Voir aussi les deux remarquables mémoires de *sir William Siemens*. « *On the conversion of Heat into Mechanical Effort* » et « *On a Regenerative Engine* ». *Inst. of Civil Eng.* London 1852 vol. XII, p. 571 590 et *Royal Institution Proc.*, vol. II 1856, p. 227-236.

« Elle ne le fait pas dans les mêmes conditions que le réfrigérant, qui engouffre définitivement, et en pure perte, durant la phase de compression isotherme, les calories dont il est chargé de dépouiller le gaz. Le régénérateur les reçoit seulement en dépôt. Il les *emmagine* momentanément pour les restituer ultérieurement, aux instants et dans la proportion convenable, pendant la quatrième phase du cycle. Ainsi donc, tandis que le calorifère se borne à fournir, et le réfrigérant à soustraire de la chaleur à l'air, ce troisième organe la recueille et la rend alternativement. Il ne devient transitoirement le dépositaire, pour la régénérer au moment opportun. De là son nom de régénérateur. »

M. Hirsch a donné, dans sa *Théorie des machines aérothermiques*, une théorie complète des régénérateurs, avec exemples numériques chiffrant leur utilité.

Comparaison théorique de divers moteurs à air chaud.

Cette comparaison a été établie au tableau ci-dessous par M. *Fleeming Jenkin* ⁽¹⁾ en partant des données suivantes dont on suivra facilement l'établissement au moyen des notations ci-dessous et du diagramme (fig. 105) :

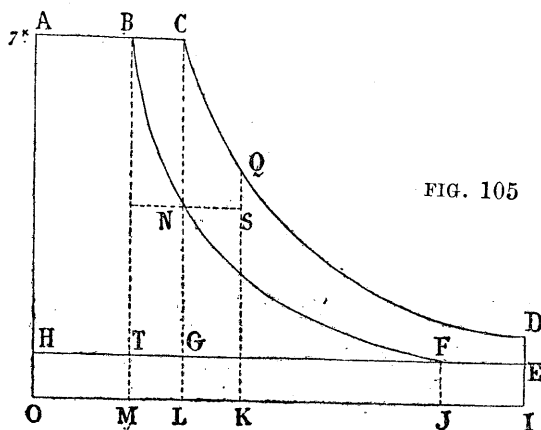


FIG. 105

Notations.

- P. P_a P_b Pressions absolues, en kilogrammes par centimètre carré, aux points A, B, C, du diagramme.
- P_{cd} , P_{bf} Pressions moyennes des courbes CD, BF.
- V , V_f , V_b Volumes du kilogramme d'air en mètres cubes aux pressions P_f P_b ...
- r , r_c , r_d Rapports du volume de l'air V_c , V_d , avant la détente au volume après la détente.
- τ Températures absolues $t + 273^\circ$.
- t Températures ordinaires.
- H et h Chaleur cédée au kilogramme d'air en kilogrammètres et en calories.
- E. Equivalent mécanique de la chaleur.
- U. Travail utile du kilogramme d'air.
- $R=20,270$. Coefficient de l'équation $PV = RT$.
- $\gamma=1,408$. Rapport des chaleurs spécifiques à pression et à volume constants.
1. Gas and caloric Engines.

On trouve ainsi, d'après les équations bien connues de la thermodynamique :
 Pour P_1 en fonction de P_2 : $P_1 = P_2 r^{1.408}$, dans la détente adiabatique de
 V_1 à $V_2 = r V_1$.

Pour les pressions moyennes correspondant aux adiabatiques CD, ED :

$$P_{cd} = 2,450 \frac{P_c}{r-1} \left(1 - \left(\frac{1}{r^{0.408}} \right) \right) P_{ed} = 2,450 P_d \left(\frac{r^{1.408} - r}{r-1} \right)$$

Pour le travail total du kilogramme d'air :

$$U = (V_d - V_c) P_{ed}$$

Pour le travail utile : U diminué du travail de la pression atmosphérique :

$$U_{edeg} = (P_{ed} - 10.000) (V_d - V_c)$$

Les températures τ_d , τ_c se déterminent par la relation :

$$\frac{\tau_d}{\tau_c} = \left(\frac{1}{r} \right)^{0.408} \begin{cases} \text{Log } \tau_d = \text{log } \tau_c - 0.408 \text{ log } r \\ \text{Log } \tau_c = \text{log } \tau_d + 0.408 \text{ log } r \end{cases}$$

CD étant l'isothermique de l'air à τ_o , on a :

$$\begin{aligned} H &= U_{cd} = \text{aire LCDI} \\ &= R\tau \log \text{hyp } r \end{aligned}$$

et

$$P_{cd} = \frac{H}{V_1 - V_2}$$

Les machines citées dans ce tableau sont les suivantes :

1° *Machines Cayley, type Buckett* (décrite à la page 277). — Air pris à 17°, comprimé à 2 kilogrammes effectifs, porté sous pression constante à 540° par

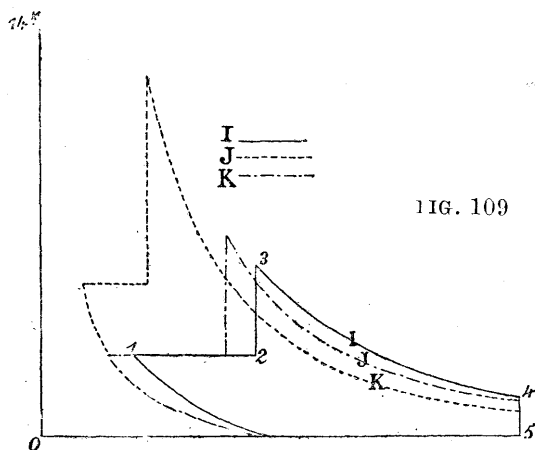


FIG. 109

la chaleur du foyer, puis détendant de deux fois son volume jusqu'à peu près la pression atmosphérique : conditions se rapprochant des conditions de la pratique.

2° *Machines Cayley-Buckett*. — Air comprimé à 7 kilogrammes effectifs. Température $t_1 = 540^\circ$. Détente adiabatique de 4 fois son volume jusqu'à la pression

TYPES DES MACHINES		CAYLEY OU BUCKETT		MOTEUR A GAZ A COMPRESSION				MOTEUR A GAZ A COMPRESSION AVEC RÉGÉNÉRATEUR		
Pression maxima effective.		1.90	7.	2.8	5.6	2.8	5.6	2.8	2.8	5.6
Nature de la compression.		Adiabat.	aAdiabat.	Adiabat.	Adiabat.	Isotherm.	Isotherm.	Adiabat.	Isotherm.	Isotherm.
Numéros d'ordre.		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
Volumes du kil. d'air en mètres cubes.	V_f	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780
	$V_{b,c}$	0.378	0.185	...	...	...	...	...	...	...
	$V_c V_n$	0.760	0.280	0.312	0.210	0.212	0.125	0.310	0.215	0.145
	$V_d V_s$.....	...	...	...	...	...	...	0.700	0.600	0.350
Détentes r	r (cd).....	1.560	1.08	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
	r (dq).....	2	4	5 084	7.510	7.440	12.88	...	...	...
Compressions	r (fb).....	...	...	...	...	...	...	2.250	2.610	452
	r (fn).....	2.097	4.303	2.543	...	...	...	...	...	...
	P_f.....	...	...	...	3.755	3.720	6.440	2.543	3.720	6.440
	$P_n P_s$	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
Pressions absolues en kilogrammes par centimètres carrés	$P_b P_c$.....	...	...	3.80	6.70	3.70	6.70	3.80	3.80	6.70
	P_g	2.45	8.01	16.70	24.70	24.50	39.50	...	...	...
Pressions moyennes absolues en détente.	P_d.....	...	...	...	...	...	...	7.40	8.50	14.50
	P_{cd}	1.10	1.15	1.70	1.45	1.45	1.15	2.35	2.15	1.70
	P_{qd}	1.76	2.90	4.87	5.20	5.20	5.60	...	...	...
	P_{fb}.....	...	...	...	...	...	...	4.05	4.15	4.65
— — en compression.	P_{fn}	170	2.75	...	...	...	...	...	...	...
	τ.....	...	...	1.98	2.50	1.90	2.30	1.90	1.85	2.25
	τ_n	273°	273°	273°	273°	273°	273°	273°	273°	273°
	τ_b.....	...	...	407	482	273	273	482	273	273
Températures absolues.....	τ_c	375	510	...	...	...	...	...	...	...
	τ_s	795	795	1775	1775	1775	1775	...	...	...
	τ_q.....	...	...	...	...	...	...	945	810	810
	τ.....	...	...	...	...	...	...	1775	1775	1775
Travaux en kilogrammètres par kilo- gramme d'air pour les aires (fig.105)	ACDEH... ..	595	445	920	782	781	620	1285	1205	960
	ABFH.....	20,940	36,500	...	...	...	...	...	...	...
	NFG.....	11,170	23,700	...	...	...	...	...	...	...
	CDEG.....	...	...	4,415	8,700	4,895	8,650	4,450	4,895	8,650
Chaleur fournie en kilogrammètres....	NSQDEG..	...	...	48,600	57,500	57,450	66,700	...	...	...
	H.....	...	...	...	...	...	...	38,150	42,500	58,850
	H ₁	41,520	28,200	97,800	92,790	107,400	107,400	59,400	69,300	69,300
	H ₂.....	...	...	...	...	...	...	53,400	53,400	53,400
Chaleur restituée.....	H ₃.....	...	...	...	...	...	...	26,400	21,200	3,650
	— H ₃	30,950	15,600	54,500	44,500	44,450	33,500	...	...	...
Chaleur disparue, soustraite.....	U.....	0	0	0	0	11,250	15,600	0	11,260	15,550
	U.....	11,800	12,600	44,200	48,050	52,200	58,200	33,600	37,300	50,450
Travail utile par kil. d'air	E _t = $\frac{U}{H}$.....	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	0,26	0,44	0,45	0,52	0,48	0,54	0,56	0,54	0,72
Rendement théorique.....		0,26	0,44	0,45	0,52	0,48	0,54	0,56	0,54	0,72

atmosphérique. Exemple choisi pour montrer l'augmentation du rendement avec la compression initiale.

3° *Moteur à gaz Otto ordinaire.* — Mélange d'air et de gaz pris à 170°, comprimé à 2 k. 10 effectifs. Explosion à volume constant, sous une température de 1537° au plus. Détente de deux fois le volume primitif.

4° *Moteur Otto avec compression plus élevée:* de 5 k. 6 effectifs. La température de l'explosion atteint théoriquement 1539°, le reste comme précédemment. Le rendement théorique passe de 0,45 à 0,52.

5° *Moteur à gaz avec compression isothermique à 5^k, 8, effectifs.* — Température de l'explosion 1537° (théorique). Détente de 2 fois le volume à l'admission. Cet enlèvement de la chaleur de compression augmente le rendement théorique de 0,45 à 0,48.

6° *Moteur à gaz avec compression isothermique portée à 5^k, 6 effectifs.* — Explosion à 1537°, le reste comme en 5°. Le rendement augmente de 0,48 à 0,54.

7° *Moteur à gaz avec régénérateur et compression adiabatique à 2^k, 8 effectifs.* — Après avoir traversé le régénérateur et lui avoir emprunté une chaleur équivalente à 53,400 kilogrammètres, le kilogramme de mélange fait explosion à 1537°, se détend de deux fois son volume, et s'échappe en restituant au régénérateur les 53,400 kilogrammètres. C'est le diagramme FNSQDE (figure 105) marqué I sur la fig. 106. L'emploi du générateur fait passer le rendement de 0,45 (3°) à 0,56.

8° *Moteur à gaz avec régénérateur et compression isothermique à 2^k, 8* — le reste comme en 7°. Diagramme J (fig. 107). Le rendement tombe de 0,56 à 0,54.

9° *Moteur à gaz avec régénérateur et compression isothermique à 5^k, 6 effectifs.* — Diagramme K (fig. 106) le reste comme en 8°. Le rendement augmente de 0,54 à 0,72.

Machine Stirling de 1827.

Voici les principales dispositions du brevet de Robert et de James Stirling, n° 5456, de 1827 :

Le carcas du piston, qui se meut dans un cylindre à fonds sphériques, est formée d'un croisillon guidé par la tige centrale et par quatre glissières L (fig. 107). Sur cette carcasse, est attachée une tôle cylindrique DE, de 2 millimètres d'épaisseur qui porte, rivée au bas, la tôle hémisphérique E, de 3 millimètres d'épaisseur, et, rivée en haut, la tôle conique DF, de 2^{mm},5 d'épaisseur, raccordée à la tôle hémisphérique supérieure P, de 1^{mm},1/2 d'épaisseur. Les deux tôles hémisphériques sont percées de nombreux trous de 6 millimètres de diamètres, écartés de 25 millimètres au plus. L'espace compris entre ces deux fonds, écartés de 100 millimètres environ, est rempli de tôles aussi minces que possible, percées de nombreux trous *bb* (fig. 108) alternants, non superposés, et maintenues écartées de deux ou trois fois leur épaisseur par des bosselages poinçonnés *a a*. L'air qui traverse cet espèce de tamis est ainsi obligé de parcourir en couches minces toute la surfaces des tôles, qui déterminent ainsi une action refroidissante ou réchauffante très énergique. L'espace F, compris entre les tôles D et E, est aussi rempli de tôles séparées par des bosselages, mais non perforées. On peut d'ailleurs remplacer ces tôles intermédiaires par des graviers, des morceaux de verre ou des fragments de poterie aussi petits que possible, pourvu qu'ils ne passent pas au travers des trous des tôles de fond ; mais les tôles sont préférables. Le cylindre est légèrement conique — plus grand d'un millième

de son diamètre en A qu'en C — et la tôle DE en est écartée de $\frac{1}{300}$ de son diamètre. Une tôle N, bombée et fendue comme l'indique la figure 109, appuyée sur le cylindre par son élasticité, et forme garniture étanche.

Le couvercle du cylindre est rendu étanche sur ses brides par un joint au plomb. La garniture de la tige du piston est en chanvre bien graissée: le graissage des

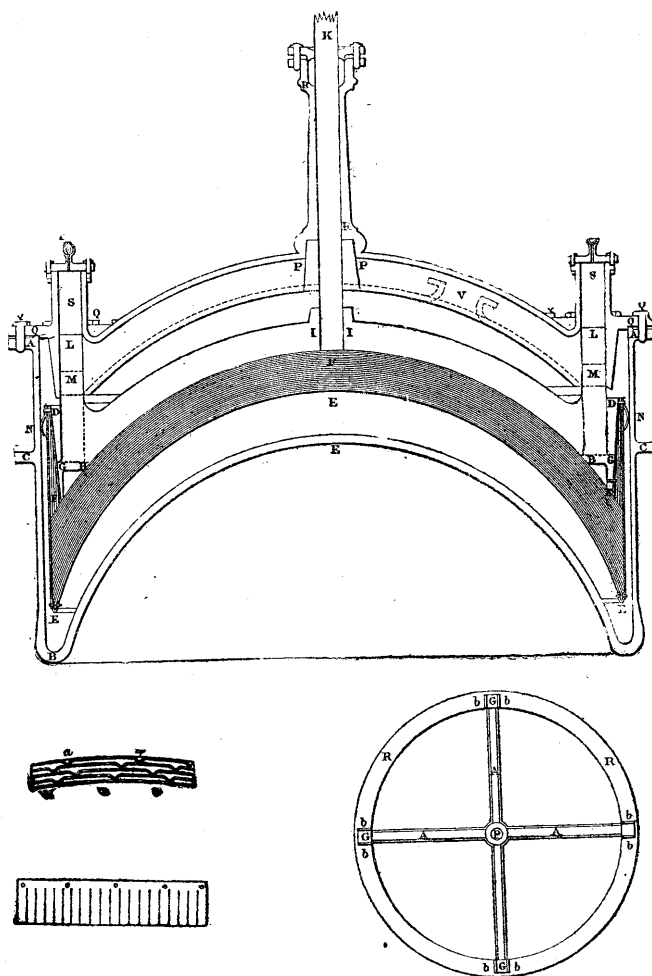


Fig. 107 à 110. — *Stirling*. — Détail d'un piston plongeur et d'un régénérateur coupe verticale diamétrale, plan (à une échelle réduite) détail des tôles *ab* et N.

ABE cylindre en fonte, supporté au-dessus du foyer par la bride *c*, dans lequel monte et descend le piston déplaceur DE. — R, anneau en fonte pourvu de deux croisillons AA, à guides GL, coulisant entre les plaques de bronze *b b M* graissés en ST — DF faisceau de tôles rivées à l'anneau GR et en D. — DFEE, espace rempli de tôles très minces, percées de trous *b* et d'étampages *a*.

(Fig. 108) — disposés de manière à y faciliter la circulation de l'air sous une grande surface — O, joint au plomb entre les brides A et B. K, tige du piston déplaceur — PP, couvercle du cylindre, avec couche d'air communiquant, par V, avec l'intérieur du cylindre — N (fig. 107 et 110), tôles bombées servant de guides aux plongeurs.

guides L s'opère au moyen des robinets T. Enfin, la chambre à air comprise entre les deux fonds du couvercle, communique constamment avec le cylindre par l'ouverture V.

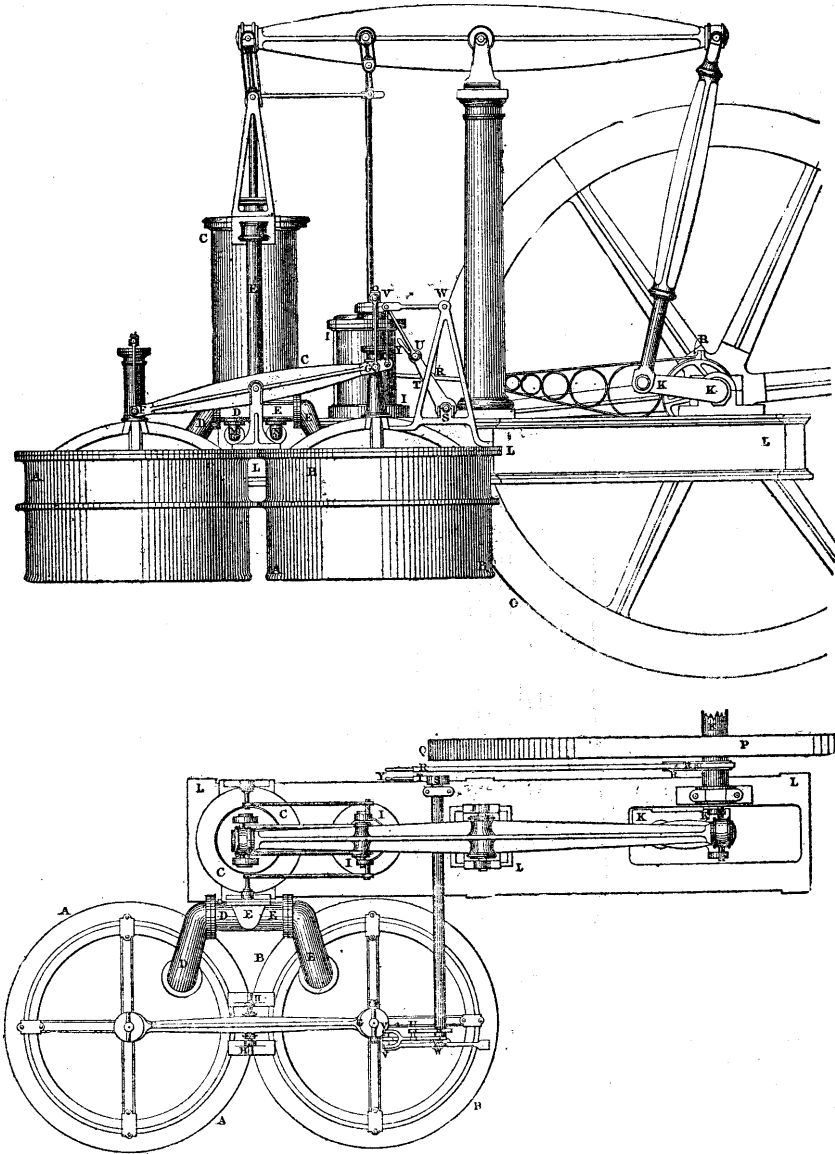


Fig. 111 et 122. — *Machine Stirling de 1827.* — AB, cylindres déplaceurs, à pistons conjugués par le balancier F.G, et conduits par le train (R. T S Y. W. V) D.E. conduits faisant communiquer le haut des cylindres déplaceurs A et B respectivement avec le bas et le haut du cylindre moteur C. I, pompe à air réparant les fuites en refoulant de l'air dans un réservoir communiquant avec les tuyaux D et E par des ajutages M et N, à clapets de retenue s'ouvrant du réservoir sur D et E. — Y, manivelle de mise en train.

La machine comporte, comme l'indiquent les figures 111 et 112, deux cylindres à air A et B, dont les parties supérieures communiquent respectivement par D, et par E, avec le bas et le haut du cylindre moteur C; leurs pistons sont conjugués par un balancier FG.

Le diamètre des tuyaux E et D est égal au $\frac{1}{5}$ de celui du cylindre C, et au $\frac{1}{15}$ de celui des cylindres A et B, dont la course est égale au $\frac{1}{4}$ de celle du cylindre C.

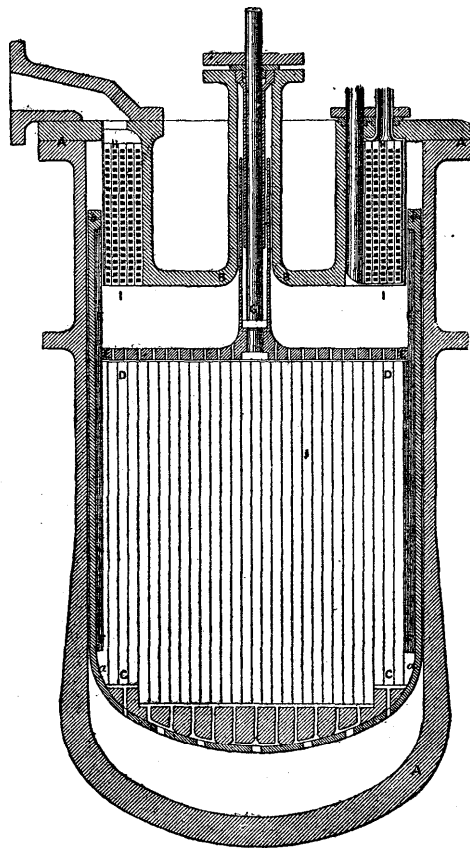


Fig. 113. — Deuxième type de régénérateur Stirling (1840). — A, cylindre en fonte essayé à 50 atmosphères. D, déplaceur percé de trous en a et E, et rempli de lames de verre alternativement planes et ondulées ainsi qu'en F. HI, réfrigérant par circulation d'eau dans des tubes de cuivre.

La pompe à air à double effet II, de diamètre et de course moitié de ceux du cylindre C, comprime constamment de l'air dans une partie du bâtis qui forme réservoir et communique avec D et E par les tuyaux M et N, pourvus de clapets de retenue s'ouvrant sur DE. Le balancier des plongeurs A et B est mené par l'excentrique R et le train T S U V W, disposés de façon que les plongeurs soient à mi-course quand le piston de C est aux fonds de course.

La marche de l'appareil est la suivante :

On allume du feu aussi uniformément que possible sous les fonds des cylindres A et B, en maintenant leur couvercle froid par le rayonnement seul ou aidé d'une circulation d'air ou d'eau. Lorsqu'on voit, par une ouverture du foyer, que la température y est assez élevée pour brûler la suie sur les fonds des cylindres, la machine est prête à marcher, et il faut, autant que possible, conserver cette température. Supposons alors que l'on amène, en tournant au volant ou par la manette Y, le plongeur B au haut de sa course et le plongeur A au bas, comme l'indique la figure 111; l'air qui se trouve au-dessus de B descend à travers son régénérateur et s'y échauffe : sa pression augmente, et se communique par E au-dessous du piston de C. En même temps, l'air au-dessous du plongeur de A remonte en cédant de la chaleur à son régénérateur, se refroidit et subit une diminution de pression qui se communique par D au-dessous du piston de C, lequel descend ainsi par la différence des pressions de l'air en B et en A. L'inverse a lieu quand la position des plongeurs s'intervertit : A en haut et B en bas. C'est donc toujours le même air qui circule dans la machine, la pompe I ne servant qu'à réparer les fuites. On peut même, à la rigueur, se passer de cette pompe, et employer, au départ, les plongeurs eux-mêmes directement à la compression de l'air dans le réservoir.

Voici textuellement les revendications de ce remarquable brevet :

« 1° La forme et la construction des cylindres à air, représentées par les figures 107 à 110, et décrites au brevet, qui permettent de remplir le plongeur de tôles minces ou d'autres corps nécessaires pour retarder la transmission de la chaleur de bas en haut et qui servent aussi à chauffer et à refroidir l'air.

« 2° L'application de deux ou plusieurs de ces cylindres à air et plongeurs à un seul cylindre moteur, de façon à agir alternativement sur chacune des faces de son piston.

« 3° L'admission de l'air au moyen de valves dans le cylindre moteur ou aux cylindres à air, de façon à augmenter la pression sur le piston sans le secours de la pompe à air.

« 4° Le refoulement, par ces valves, au moyen d'une pompe à air, d'une masse d'air plus grande qu'on n'en pourrait introduire par la simple pression de l'atmosphère. »

Dans un autre brevet postérieur, le n° 8656 de 1840, MM. J. et R. Stirling ont considérablement modifié leur machine. Le déplaceur y est constitué (fig. 113), par un piston en fonte *aa bb EE*, percé au bas de nombreux trous d'une section totale égale au $\frac{1}{13}$ environ de celle du piston, et bourré d'un grand nombre de plaques de verre *CD*, alternativement planes et ondulées, laissant entre elles des intervalles très petits, de 1/2 millimètre environ. L'espace *FF* est aussi garni de tôles de fer ou de lames de verre. Le réfrigérant *HI* est à circulation d'eau.

Machine de Rankine et Napier (1853) (1)

Il suffira de décrire les phénomènes qui se passent d'un côté de la machine, complètement symétrique par rapport au cylindre moteur à double effet A.

Chacun des pistons déplaceurs *P*, à régénérateur *p*, fonctionne entre deux cylindres : un refroidisseur *O* et un réchauffeur *L*.

1. Brevet anglais, 4416 du 9 janvier 1853.

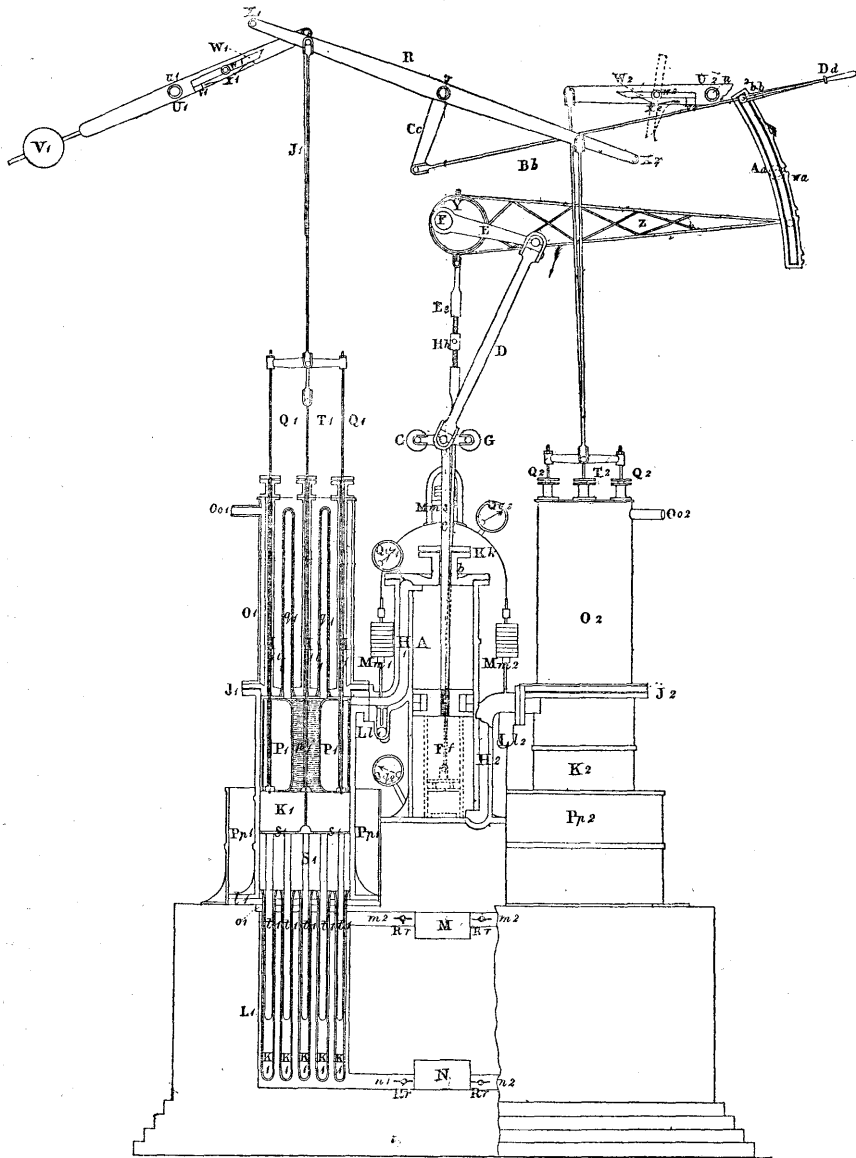


Fig. 114. — *Moteur Rankine et Napier*. — A, cylindre moteur; B, piston moteur, dont la tige c , à stuffing box b_1 , actionne, par DE_1 l'arbre moteur F. GG, galets-guides de la tige du piston. Le haut du cylindre moteur communique par H_1 avec la partie médiane K du déplaceur de gauche, et le bas, par H_2 , avec la partie correspondante K_2 du déplaceur de droite.

S_1 écran attaché à la tige T_1 et porteur de tiges t_1 , montant et descendant dans les tubes formés $L_1 K_1$, chauffés par le foyer et fixés dans la plaque tubulaire l_1 .

i_1 tiges coulissant dans les tubes fixes q_1 du réfrigérant o_1 , et attachées au piston déplaceur P_1 , mu par les tiges φ_1 .

M, conduit amenant la flamme du foyer, par les registres $R_2 m_2$ et les tuyaux $m_2 m_2$, en haut des réchauffeurs $L_1 L_2$, d'où les gaz s'échappent dans l'atmosphère par ($n_1 n_2 R N$).

P_1 , piston déplaceur en tôles cloisonnées, rev. apli de terre réfractaire, et percé au centre d'un

passage de circulation d'air p_1 , pourvu de toiles métalliques. Ce piston est suspendu par les tiges $\varphi_1 j_1$ au balancier R, qui oscille autour de l'axe r .

La tige T_1 , qui suspend l'écran S_1 au balancier u , est indépendante des tiges φ_1 et du piston P_1 ; elle est équilibrée, ainsi que l'écran S_1 , par un contrepoids V_1 . W_1 dévie mobile autour de son axe x_1 , et ramené par un ressort sur sa butée v_1 , de manière que le galet V_1 du balancier R puisse le franchir dans sa descente, en le faisant basculer comme en w_2 , tandis qu'il l'entraîne forcément dans sa montée.

Y, excentrique commandant, par sa tige Z et la coulisse w , oscillant autour de A_1 , le coulisseau b de la bielle DB, reliée par C au balancier R. La position du coulisseau b de part et d'autre du point a détermine le sens de la marche du moteur. O, circulation d'eau. F, pompe de fuite, comprimant de l'air en $K_1 K_2$.

Le réchauffeur est pourvu d'une série de tubes K, chauffés par les gaz du foyer e , avec tiges t , attachées à un écran s , qui monte et descend.

Le haut du déplaceur porte aussi des tiges l , qui montent et descendent dans les tubes q du réfrigérant, fermés à un bout, comme ceux du réchauffeur. Le cylindre A est, enfin, constamment alimenté d'air comprimé par la pompe de fuites F.

Ceci posé, supposons le piston A et les deux écrans $S_1 S_2$ au bas de course, et les deux pistons déplaceurs $P_1 P_2$ au milieu de leur course. Le piston A, qui communique par H_1 et H_2 avec les deux déplaceurs, K_1 et K_2 , reste immobile, et

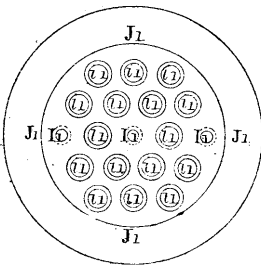


Fig. 115. — Plan du réfrigérant J_1 .

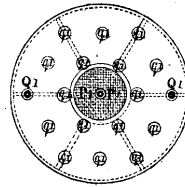


Fig. 117. — Plan du déplaceur P_1 .

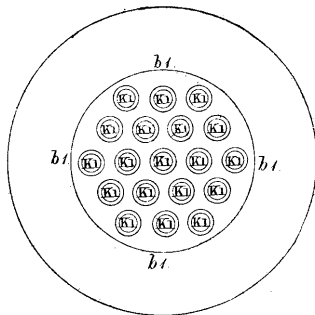


Fig. 116. — Plan du réchauffeur $K_1 L_1$.

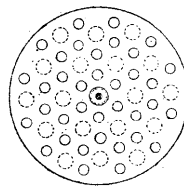


Fig. 118. — Plan de l'écran S_1 , percé de trous indiqués en plein. Les cercles pointillés indiquent les tiges t_1 .

la chaleur du foyer ne fait qu'augmenter la pression uniformément dans tout l'appareil.

Pour faire tourner l'appareil dans le sens indiqué par la flèche, on avance à la main le coulisseau b au haut de la coulisse W ; ce mouvement amène R dans la position indiquée, soulève le déplaceur P_1 et l'écran S_1 , et abaisse le plongeur P_2 ,

sans toucher à son écran. L'air chaud, qui se trouve au-dessous de P_2 , va se refroidir en O_2 , après avoir cédé de la chaleur au respirateur de P_2 , tandis que l'air froid de O_1 descend au travers de P_1 , se réchauffer en L , autour des tiges de l'écran S_1 . Cet écran, d'abord soulevé, sera ensuite lâché par un déclic W_1 , de façon à faire vivement passer l'air à la surface des tubes réchauffeur. La pression augmente plus en alors H_1 qu'en H_2 , et le piston moteur A descend.

Vers la fin de la descente, et au commencement de la montée du piston moteur A , le plongeur P_1 descend, l'écran S_1 restant immobile au fond de sa course. L'air traverse le respirateur p_1 , auquel il cède de la chaleur, puis il achève de se refroidir au réfrigérant O_1 , qui absorbe aussi la chaleur de compression du piston A .

Pendant que le piston A termine sa course montante, et au commencement de sa descente, P_1 monte, et l'air froid de O_1 descend en L_1 , après avoir récupéré la chaleur des toiles de P_1 . D'autre part, pendant la moitié de la montée de P_1 , l'écran S_1 se soulève puis il retombe, en activant ainsi le passage et l'échappement de l'air sur les tubes K_1 ; ce qui termine le cycle des opérations sur la face supérieure du piston A .

Ce cycle se reproduit ensuite en sens inverse sur la face inférieure du piston A .

On voit que, dans cette machine, la chaleur est reçue puis rejetée à pressions constantes.

La pression maxima devait, d'après les inventeurs, atteindre 14 atmosphères au cylindre moteur.

Le rôle des écrans, qui caractérisent en partie cette machine, est de séparer l'air de la source de chaleur aux moments où la communication de cette chaleur gênerait la marche du moteur, c'est-à-dire, quand l'air passe pour aller se refroidir dans les parties froides du récepteur, lorsqu'il se comprime, et lorsqu'il ne se détend pas.

Moteur Jenkin et Jameson (1)

La présente invention a pour objet la construction d'une machine motrice tenant essentiellement au type de la machine Stirling, mais en différant en ce que, au lieu d'employer l'air comme agent, nous employons les produits de la combustion de combustible solide brûlé dans une grille directement en relation avec l'intérieur de ce que Stirling désigne sous le nom de *vase à air*, et que nous nommerons *le vase ou la chambre de déplacement*, de telle façon que les produits de la combustion sont déchargés de la grille dans le vase de déplacement, partiellement par expansion sous l'influence de la chaleur, et partiellement par écoulement, la pression dans la chambre de la grille étant toujours, par rapport à celle existant dans le vase de déplacement, dans des relations telles, que les produits de la combustion ne soient pas renvoyés suffisamment dans le foyer pour empêcher la combustion.

L'invention consiste à combiner avec les parties ordinaires d'une machine Stirling, (soit le vase de déplacement avec sa chambre chaude et froide, le refroidisseur et le régénérateur, le cylindre principal et les autres parties ordinaires d'une machine Stirling, non compris son fourneau extérieur) les autres détails ou arrangements ci-après décrits, savoir :

1. Brevet français 144779, 10 septembre 1881.

1° Un fourneau entouré de matière non conductrice et réfractaire, dans lequel brûle un combustible solide ou gazeux. Comme accessoires de la grille nous employons : (a) des tuyères par lesquelles de l'air, ou de l'air et du gaz, est chassé dans le foyer ; (b) des communications convenables et des arrangements pour éliminer les cendres et le mâchefer ; (c) une ouverture pour l'allumage du feu ; les ouvertures (b) et (c) peuvent se confondre ; (d) une cheminée servant à préparer la mise en marche de la machine.

Lorsqu'on emploie du gaz, la grille est garnie de matières telles que le platine la terre de pipe, l'amiant, le charbon de bois, la pierre ponce, la porcelaine, qui ont la propriété, sous une chaleur suffisante, de faciliter ou de déterminer la combustion du gaz à l'intérieur de leurs pores ou intervalles. Cette action physique est désignée sous les noms d'*occlusion*, d'*action de contact* ou de *catalysis*. Les matériaux sont arrangés de façon à présenter une grande surface au mélange de gaz et d'air, qui brûle ou se combine sur ladite surface entièrement ou presque entièrement sans flamme ni explosion. L'alimentation de gaz et d'air peut être continue ou discontinue, à courts intervalles insuffisants pour interrompre l'action d'occlusion.

Comme accessoire à la grille, lorsqu'on fait usage du gaz, il convient d'employer un allumeur qui sert à enflammer le mélange sur la grille s'il venait par accident à s'éteindre.

Bien que le mode ci-dessus décrit nous paraisse préférable pour effectuer la combustion du gaz et de l'air dans la chambre chaude, nous pouvons employer l'un ou l'autre des moyens ordinaires pour enflammer le gaz et l'air par une série d'explosions ou par la combustion continue d'un jet de gaz. Quelle que soit la nature du combustible employé, il est nécessaire d'élever la chambre chaude à une température suffisante avant la mise en marche de la machine.

2° *L'alimentateur de combustible solide*. Ceci peut se faire d'un grand nombre de manières différentes. Les qualités essentielles de l'alimenteur doivent être de pouvoir contenir une provision de combustible sous pression pouvant être graduellement poussé dans le fourneau suivant le besoin, et d'admettre le renouvellement de cette provision de temps à autre sans qu'il en résulte un abaissement de la pression dans le vase à déplacement.

Lorsqu'on emploie du gaz comme combustible, on supprime cet alimenteur et on le remplace par une pompe à refouler le gaz, ou bien la pompe mentionnée dans le 3° peut comprimer à la fois le gaz et l'air.

3° Une ou plusieurs *pompes à air* , qui fournissent au fourneau de l'air ou de l'air et du gaz, soit directement par des réservoirs et tuyaux convenables, soit indirectement par des réservoirs et tuyaux convenables, soit indirectement au moyen d'un accessoire ci-après décrit sous le nom de *déplaceur d'air*. Il y a quelque avantage à faire passer l'air des pompes par un ou plusieurs tuyaux allant du bout froid au bout chaud du régénérateur, avant son arrivée à la grille par les tuyères, ce qui fournit un vent chaud.

4° *Un équilibreur*, dont l'effet est d'enlever à la machine à chaque course une partie du fluide d'action qui, dans les conditions normales, équivaldra en poids au combustible et à l'air qui ont dû concourir au travail durant chaque course, ce qui produit une détente du fluide d'action l'amenant à la pression atmosphérique avant son éjection dans l'atmosphère. Le fluide d'action, dans cette détente, fera à peu près la quantité de travail requise pour comprimer l'air servant à la combustion. Au lieu d'un ou plusieurs cylindres distincts, on peut aussi employer le ou les mêmes cylindres alternative ment comme pompe à air et comme équilibreur. Pour cela, nous admettons la charge de fluide d'action au bout du cylindre où la charge frais vient d'être comprimée et chassée dans le réservoir. L'objet de ceci est que la partie du fluide d'action retirée soit aidée dans sa détente par l'absorption de la

chaleur fournie antérieurement aux parois du ou des cylindres par la compression de l'air. Au lieu de tirer le fluide d'action destiné à l'équilibre de la chambre froide, on peut le prendre d'un point du générateur rapproché du bord froid de cette chambre.

Ces quatre organes, savoir (1) le foyer intérieur, (2) l'alimenteur de combustible, (3) la pompe à air, et (4) l'équilibre, sont combinés avec le vase de déplacement ordinaire, le régénérateur, le réfrigérant, le cylindre principal et les autres organes ordinaires d'une machine Stirling, à l'exclusion de son fourneau extérieur.

Suivent divers perfectionnements absolument nouveaux qu'il nous paraît utile de combiner encore en tout ou en partie avec les dispositions ci-dessus décrites.

5° Des arrangements spéciaux permettant de faire usage de matériaux non conducteurs et réfractaires, tels que des briques réfractaires, pour la garniture du bout chaud de la chambre de déplacement dans le but de retenir la chaleur sans rencontrer la fâcheuse action de tampon qu'occasionnerait l'emploi de ces matériaux à défaut de ces dispositions particulières. Nous avons trouvé par l'expérience que la brique réfractaire habituellement employée dans la construction des fours absorbe dans ses pores ou vides jusqu'à 10 à 60 % de son propre volume, ce qui est une source sérieuse de perte de force par suite de l'effet de tampon produit par l'absorption du fluide d'action par les pores de la brique et son émission ultérieure. Nous empêchons ou réduisons cet inconvénient au degré voulu de la manière suivante : nous isolons la surface intérieure de ce qui est destiné à former la partie chaude de la chambre de déplacement recouverte d'une couche munie de matière non conductrice réfractaire, en interposant, entre cette couche intérieure et le reste de la matière non conductrice une cloison en métal enveloppant complètement cette couche intérieure, ce qui réduit l'épaisseur de la couche de matière absorbante en contact avec le fluide d'action. Cette enveloppe étant elle-même exposée à être chauffée au point de ne pouvoir opposer une résistance suffisante, est adossée à un extérieur en briques réfractaires ou autre matière analogue d'une épaisseur suffisante, puis le tout est enveloppé par une chemise en métal qui est toujours froide. La chemise métallique extérieure peut être construite de façon que l'espace qui la sépare de l'enveloppe métallique intérieure soit sous pression, ou bien elle peut être entourée d'un nombre suffisant de cercles. L'action tamponnante ci-dessus mentionnée a pour résultat de diminuer l'effet utile moyen du cylindre de la machine. Nous préférons en outre employer, pour la couche réfractaire placée dans la cloison métallique intérieure, des briques de matières réfractaires non conductrices, préparées de façon à résister à la saturation ou pénétration par le fluide, faites d'argile bien broyée, soigneusement lavée et tamisée, soumises à une compression énergique par la presse hydraulique ou autrement et plongées à saturation dans une solution d'acide borique ou d'un silicate soluble convenable; cet enduit, après la calcination, formera un dépôt solide et non fusible dans les pores de la brique.

6° *Le déplaceur d'air.* Il consiste en un cylindre dont un bout communique avec les tuyères menant au foyer, et l'autre bout communique avec la chambre froide du vase de déplacement. On peut à volonté interposer une valve entre le déplaceur d'air et la grille. Un piston sépare les deux bouts du déplaceur d'air. Vers le point de la plus basse pression dans le vase de déplacement, l'air ou l'air et le gaz sont envoyés par les pompes dans le bout du déplaceur d'air qui communique avec les tuyères puis, vers le point de la plus haute pression, le piston du déplaceur d'air avance chassant l'air dans le fourneau. Une très petite force suffit pour cela, d'autant plus que la pression des deux côtés du piston déplaceur d'air est à peu près égale. Par ces dispositions, les pompes n'ont qu'à comprimer l'air jusqu'à la plus basse pression obtenue dans la chambre de déplacement. On peut remplacer le déplaceur d'air en interposant une valve de construction bien connue, produisant un écoulement à peu près constant de l'air ou de l'air et du gaz dans le vase de déplace-

ment, nonobstant les variations de pression de l'intérieur du vase de déplacement; l'écoulement de l'air ou de l'air et du gaz peut être entièrement arrêté durant une portion de la course par une valve à double effet; ou bien la valve à double effet peut être employée seule ou conjointement avec un orifice rétréci; ou toutes les valves peuvent être supprimées et l'air ou l'air et le gaz introduits par une ouverture rétrécie.

7° *Les valves de circulation.* Une valve ou un système convenable de valves est disposé entre le régénérateur d'un côté et le réfrigérant ou le passage ci-après mentionné, contournant le réfrigérant de l'autre; par l'effet de cet arrangement, le fluide d'action, en revenant du cylindre principal et du bout froid de la chambre de déplacement, traverse le régénérateur; mais, lorsqu'il se rend au cylindre principal et au bout froid de la chambre de déplacement, il monte par un passage qui le détourne du réfrigérant, ceci dans le but de n'enlever la chaleur du fluide d'action qu'au moment où la compression a lieu. On peut aussi placer la valve ou le système de valves au sommet au lieu du bas du réfrigérant.

8° Une *valve d'interception* interrompant la communication entre le vase de déplacement et le cylindre principal, cette valve étant sous le contrôle direct du régulateur de la machine, de sorte qu'elle peut servir à régler les variations de force ou de vitesse de la machine.

9° Le *réservoir à air frais*. Nous pouvons établir un réservoir pour emmagasiner de l'air atmosphérique à une pression suffisamment élevée pour circuler à travers la machine lorsqu'elle est arrêtée, afin de maintenir la combustion. On peut obtenir le même résultat au moyen d'une pompe à petit cheval-vapeur, ou, dans le cas de longs arrêts, au moyen d'une cheminée de hauteur suffisante.

10° Le *réservoir d'air brûlé*. Nous pouvons établir un réservoir dans lequel les produits de la combustion peuvent être amenés du bout froid du vase de déplacement. Ce réservoir agit comme réserve de force, et son fluide peut servir à mettre en marche la machine par son admission dans le cylindre équilibreur.

11° *Les tamis*. Lorsque nous employons du combustible solide, nous plaçons à des points convenables, près du bout froid du régénérateur, des tamis ou cribles de matière convenable pour empêcher les pierres ou les cendres d'être entraînées dans le cylindre principal, dans l'équilibreur, ou dans le déplaceur d'air.

Pour adapter notre machine à des applications telles que la traction des tramways, il conviendra d'y ajouter un réservoir d'air comprimé.

Le cinquième perfectionnement est applicable au vase de déplacement ou au cylindre principal des machines où le fluide d'action subit des changements de pression et où il convient de garnir le vase de déplacement ou le cylindre principal de matière non conductrice réfractaire, susceptible de produire l'effet de tamponnement mentionné.

La combinaison du déplaceur d'air avec le vase de déplacement principal peut servir avec avantage dans toutes les machines Stirling à combustion interne. La combinaison d'un cylindre employé alternativement comme pompe et comme équilibreur peut servir avec avantage aux machines où une portion de fluide d'action est introduite à chaque course.

Les valves de circulation décrites au 7° sont applicables dans les machines dont l'action exige un réfrigérant et un coussin froid d'air entre le fluide d'action et le piston. Les valves de circulation et les valves d'interception peuvent, pour simplifier, être supprimées.

Notre machine peut être à simple ou à double action, et nous arrangeons la pompe et l'équilibreur de façon que la combinaison de leurs révolutions avec celles de la machine Stirling évite autant que possible les points morts, et que la marche

soit aussi constante que possible. Pour cela, nous ne nous limitons pas à une machine à simple effet, non plus qu'à une machine à double effet avec sa pompe et son équilibreur, ou à un nombre quelconque de pompes et d'équilibreur et autres accessoires, les arrangements pouvant varier à l'infini.

Le vase de déplacement et le cylindre principal peuvent être combinés en un seul suivant des dispositions bien connues.

Dans l'arrangement représenté par les dessins, adapté à l'emploi de combustible solide, le même cylindre fait office de pompe et d'équilibreur, et le déplaceur d'air marche en combinaison avec ces organes. Dans la disposition adaptée à l'emploi du gaz, le mélange de gaz et d'air est comprimé à la pression la plus élevée que l'on puisse atteindre dans le vase de déplacement principal, dans lequel il passe par la valve à écoulement constant ci-dessus mentionné, et le pompage et l'équilibration marchent au deux bouts opposés des mêmes cylindres.

Nous allons décrire d'abord la machine motrice telle que nous la disposons pour marcher avec un *combustible solide*.

Les figures 119 à 123 représentent un mode de construction du vase de déplacement principal et de ses accessoires.

A, fig. 119, fourneau ou grille enveloppé de matière non conductrice réfractaire *a*. B, tuyères amenant l'air dans le fourneau pour la combustion, dont une porte à l'extérieur une lunette pour permettre l'observation du feu. C, tamis en matière réfractaire recouvrant le foyer pour arrêter les retours de cendre ; on peut supprimer cette pièce. D, porte du fourneau pour allumer le feu et retirer les cendres, le mâchefer, etc. F, passage pouvant être mis en communication avec une cheminée, tandis que la chaleur du vase de déplacement est en train de monter préalablement à la mise en marche de la machine. G, plongeur principal ou déplaceur. H, régénérateur. I, tubes réfrigérants. J, tringles massives passant à travers les tubes, laissant entre elles et les parois des tubes un espace annulaire ayant pour objet de contraindre les gaz qui traversent les tubes à rester en contact intime avec les parois. K, passages au moyen desquels l'air évite de passer sur les tubes réfrigérants à ce moment du cours des opérations où l'expansion se produit dans la machine. L L, valves de circulation. M représente un des tamis.

E, fig. 120 à 122, représente un mode de construction de l'alimenteur de combustible solide.

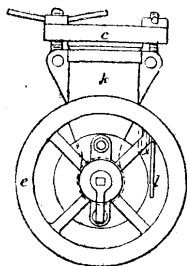


Fig. 122. — Vue de face du chargeur à échelle agrandie.

Pour charger le combustible dans la trémie *k*, on repousse la valve *d* et la vis *i* à l'intérieur en tournant le volant à main *e* ou la poignée *f* ; la valve *d* coupe alors la communication entre le foyer A et la trémie *k* ; la valve extérieure recouvrant la trémie *k* est ouverte, et le combustible est introduit dans la trémie ; après quoi on referme le couvercle *c*. On tourne le volant *e* de façon à ouvrir la valve *d* ; ce mouvement a d'abord simplement pour effet de retirer la valve *d*, mais aussitôt que l'épaule *g* vient buter contre l'écrou *h*, la valve cesse de reculer, et la valve *d* avec la roue *e* et l'axe et vis *i* tournent ensemble tout d'une pièce poussant le combustible en avant dans le foyer A. On peut alors laisser la valve *d* ouverte ou bien la fermer, ce qui est préférable lorsqu'il y a risque d'échauffement de la trémie *k*.

Un petit levier *l* est placé sur le côté de la trémie *k* ; on s'en sert pour agiter le combustible solide afin qu'il tombe librement dans le tube et la vis *i*. On alimente la trémie de temps à autre suivant le besoin.

Le mode de construction de la chambre de déplacement et du fourneau est indiqué dans la figure 119. N, enveloppe métallique interceptant de la masse de

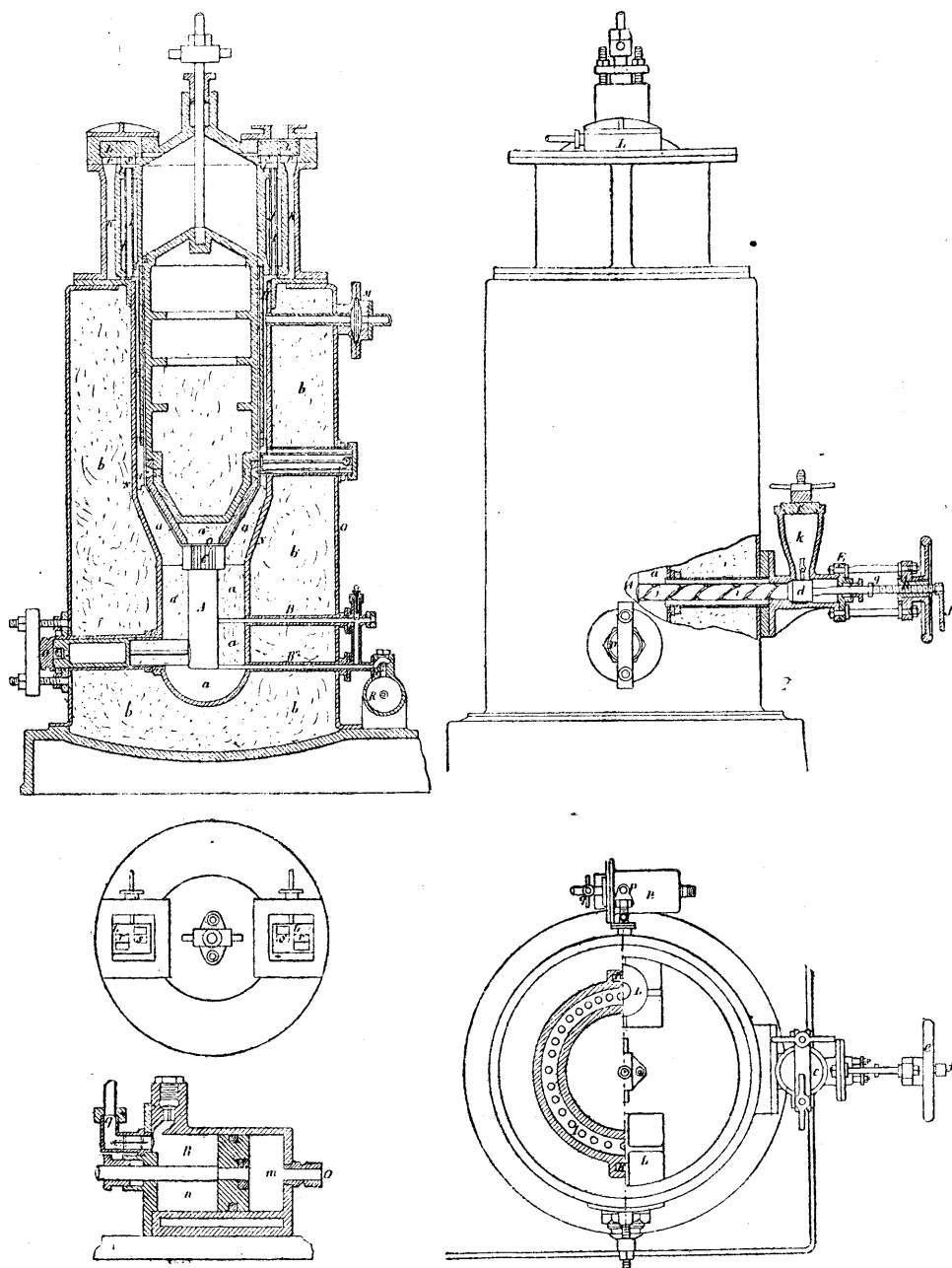


Fig. 119, 124. — Machine Jenkin et Jameson.

Coupe longitudinale du déplaceur. Élévation-coupe par l'alimentateur du foyer. "Plan." Détail de la trémie de chargement et du déplaceur d'air.

ba, garniture en brique réfractaire coupée en deux par une cloison *N* en tôle. *D b*, regards. *A* foyer. *B B₂*, tuyaux, *C* grille, *M*, tamis, *J*, tubes réfrigérants. *R*, déplaceur d'air communiquant par *m o* avec le réfrigérant, par *ng* avec le réservoir d'air, et par *np B₂B* avec le foyer *T* (fig. 126) *L*, valves de circulation actionnées de manière que l'air qui va au haut des déplaceurs et au cylindre moteur *W*, (fig. 121), évite les tubes réfrigérants *I* en passant par *r'K*, tandis que l'air allant au bas des déplaceurs descend par *s* dans ces tubes.

R, trémie de chargement du foyer : après avoir rempli et fermé la trémie, on retire le bouchon *d* en tournant *f* jusqu'à ce que *g* vienne buter sur *h*, puis on continue à tourner, les vis *i* enfournant le charbon.

matière non conductrice *b* une couche mince *a* de matière non conductrice réfractaire, suffisante pour garantir de l'oxydation et conserver la surface de cette enveloppe métallique intérieure. La matière non conductrice réfractaire extérieure est enfermée dans une chemise extérieure *o*, qui peut être construite de façon à résister par elle-même à la pression de l'intérieur, ou être entourée de cercle qui effectuent la résistance. *Q* est le bout chaud de la chambre; il est entouré de matière non conductrice réfractaire (le déplaceur *G* est représenté dans la figure 119 occupant la chambre chaude). *P*. est le bout froid entouré par une enveloppe d'eau traversée par les tuyaux réfrigérants *I*.

Figure 124 représente une élévation latérale en coupe du déplaceur d'air, représenté aussi en position dans les figures 119 et 120. Le bout *m* du cylindre est constamment en communication avec le bout froid du vase de déplacement au moyen d'un prolongement non représenté du tuyau *o*. Le bout *n* alternativement tire l'air du réservoir à air par la valve *g* et l'envoie par la valve *p* dans le foyer à travers les tuyères *B. L.* (fig. 119 à 122), représente ce que nous appelons les *valves de circulation*. *r*, lumières donnant accès aux passages *K*, qui évitent le réfrigérant. *s*, lumières menant aux tubes réfrigérants par les passages de distribution *t*, qui courent tout autour du sommet des tubes réfrigérants. Des ouvertures convenables sont disposées dans les blocs des valves pour régler la période de l'écoulement de l'air à travers les passages, comme on le voit dans la figure 123. Ces valves de circulation sont en même temps ouvertes ou fermées suivant le besoin à des passages correspondants.

Le dessin montre deux valves, mais on peut en mettre un nombre quelconque. *s*, (fig. 125), valves d'interception placées sur les aboutissants du cylindre principal; elles sont reliées avec le régulateur par les moyens ordinaires. *T*, (fig. 125-127), réservoir d'air frais communiquant avec les pompes par le tuyau *h* et avec les déplaceurs d'air par le tuyau *i*. Un réservoir d'air brûlé peut être placé dans toute position convenable; il n'est pas représenté dans les dessins.

M M', tamis. *M*, tamis de l'équilibre ou pompe, de décharge, communiquant par un passage avec un point rapproché du sommet du régénérateur. *M'* est l'un des tamis principaux. On les construit en plaçant un séparateur de flanelle ou de coton, en laine ou de quelque autre substance tamisante, en travers du passage menant du vase à déplacement principal aux cylindres. La flanelle ou autre substance repose des deux côtés sur de la toile métallique et est d'une surface qui n'augmente pas sensiblement la résistance du passage.

Les figures 125-128 montrent une forme complète de notre machine.

Les lettres majuscules indiquent les parties correspondantes dans les figures 119 à 128 tandis que les petites lettres indiquent distinctement les parties semblables dans les figures 119 à 124, et les parties semblables des figures 121 à 128.

O, vase à déplacement. *W*, cylindre principal avec ses passages le reliant aux vases de déplacement et aux tamis, dont un est représenté en coupe en *M'*. Les vases de déplacement communiquent avec les bouts opposés du cylindre principal. *R*, déplaceurs d'air commandés par un excentrique *z* monté sur l'arbre de la machine représenté en pointillé (fig. 127). *X*, combinaison de pompes et d'équilibreurs ci-après décrite. *E*, alimenteur de combustible *T*, réservoir d'air frais.

La machine agit comme suit : les portes de foyer *D* et les issues à la cheminée non représentée dans le dessin sont ouvertes. Les feux sont allumés sur les grilles *A*, et la combustion est maintenue jusqu'à ce que le bout chaud du vase de déplacement ait atteint une température suffisante. Si la machine est petite, et si les produits de la combustion du foyer sont suffisamment refroidis par leur contact avec les parois du vase de déplacement pour n'avoir pas pas, à leur entrée dans la cheminée, assez de chaleur pour produire un tirage, on peut aider le tirage en chauffant la cheminée par un chauffage direct, ou bien le

tirage peut être maintenu par quelqu'un des autres moyens mentionnés plus haut. Lorsque le bout chaud a atteint la chaleur requise, on ferme la porte du foyer et les issues à la cheminée; le feu n'en continue pas moins à brûler dans la grille, tandis que les vases de déplacement et le cylindre principal sont alimentés du fluide d'action, soit par le récipient d'air frais, soit par le récipient d'air brûlé, soit par une petite pompe supplémentaire, comme il a été dit plus haut. Les déplaceurs principaux sont alors séparés de la machine au moyen de la tige et de la poignée *U*, (fig. 128); les pompes sont momentanément arrêtées, mais les équilibreurs continuent à agir. On imprime un mouvement de va-et-vient à la main ou au moyen d'un moteur quelconque au levier *V*, ce qui produit une différence de pression sur les côtés opposés du piston, et, avec l'aide des équilibreurs, met la machine en marche. Aussitôt que sa marche a atteint une vitesse suffisante, les déplaceurs sont embrayés, les pompes sont mises en action, et la machine travaille. Le cours des opérations dans les vases de déplacement et le cylindre principal est semblable à celui de l'ancienne machine Stirling précédemment décrite, sauf quant aux changements que les valves de circulation peuvent apporter à son action. Les valves de circulation *Z* sont actionnées par un arbre *b*, (fig. 126 et 127), commandé par un excentrique *a*, monté sur l'arbre à bascule qui actionne les déplaceurs; cet excentrique actionne les valves de telle façon que l'air se rendant au bout froid des vases de déplacement et au cylindre principal évite le réfrigérant en montant par les passages *K*, (fig. 119), et qu'à son retour au bout chaud il descende par les tubes réfrigérants *L*.

Durant le cours ordinaire des opérations d'une machine Stirling dans le cylindre principal, les opérations suivantes se produisent dans les pompes et les équilibreurs. Ces arrangements fonctionnent au moyen des deux cylindres *X*, et le mode représenté dans le dessin comporte l'action alternative de la compression et de la détente dans le même cylindre; mais l'on peut employer aussi deux cylindres distincts. Chaque bout de chaque cylindre exécute successivement et répète quatre opérations distinctes, savoir: 1° aspirer l'air de l'atmosphère; 2° comprimer et délivrer l'air dans le réservoir d'air frais *T*; 3° recevoir une charge d'air ou de fluide à haute pression de l'un des vases de déplacement par les tamis *M* et les tuyaux *c*, *c'* et détendre cette charge à la pression atmosphérique; 4° décharger cette charge dans l'atmosphère. L'engrenage des valves *Y* est arrangé de manière que ces quatre opérations s'accomplissent durant chaque course du piston; c'est-à-dire, que ces quatre opérations s'exécutent toujours simultanément et dans l'ordre indiqué dans chaque bout de chaque cylindre des pompes et équilibreurs tant que la machine est en marche, deux révolutions de la machine étant requises pour compléter un cours d'opérations des pompes et équilibreurs. A cet effet, l'engrenage *Y* est relié à l'arbre de couche de la machine par des pignons ajustés et proportionnés de telle façon que l'arbre principal *Y* de l'engrenage marche à moitié de la vitesse de l'arbre de couche et que chacun des petits arbres *d* tourne à la même vitesse que l'arbre *Y*. Chaque bout de chaque cylindre, a trois valves: 1° une valve d'entrée *e*; 2° une valve de détente *f*, servant aussi de valve d'admission d'air frais; 3° une valve de sortie *g* par laquelle l'air frais entre dans le récipient *T* par les tuyaux *h*, d'où il est aspiré par les déplaceurs d'air à travers les tuyaux *i*, et traverse la grille pour retourner aux cylindres des pompes et équilibreurs *X* par les tamis *M* et les tuyaux *c*, *c'*, sous forme de produits de la combustion. Les pompes et équilibreurs sont reliés à l'arbre de couche à un angle convenable pour éviter autant que possible les points morts. Le point d'interception des valves *e* règle la pression sous laquelle travaille la machine, et l'engrenage de la valve *e* possède le moyen de varier cette limite.

Les figures 129 à 132 représentent une autre forme de notre moteur adapté pour marcher au moyen de combustible gazeux.

Dans la figure 130, *A* est la grille ou le fourneau enveloppé de matière non con-

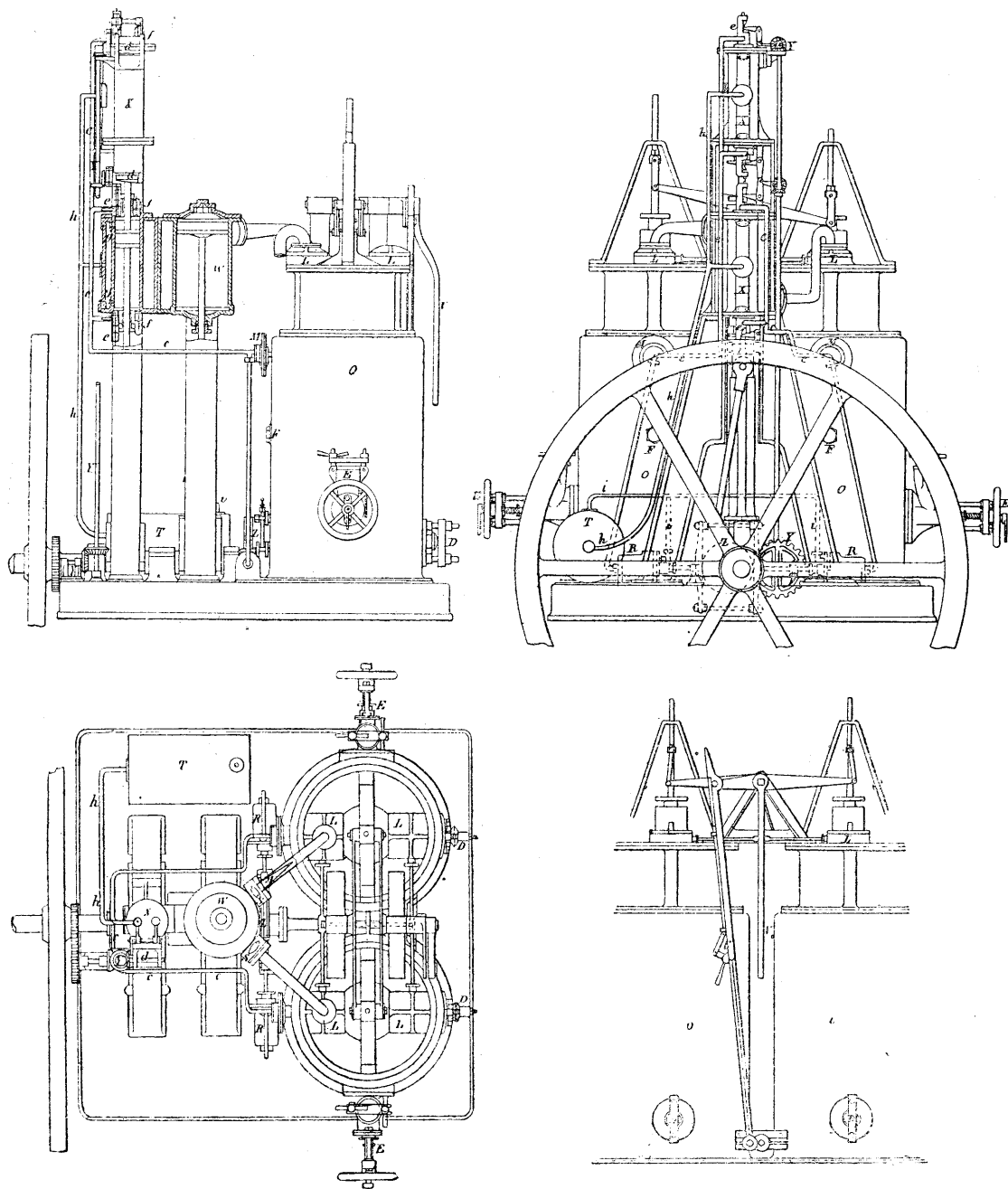


Fig. 125-128. — Moteur Jenkin et Jameson vu par bout. Elévation, plan et mise en train des déplaceurs o o, T réservoir d'air. XX pompes à air, W cylindre moteur, Y roue tournant deux fois moins vite que l'arbre moteur et commandant par son arbre *d* la distribution des pompes X. Ces pompes aspirent l'air de l'atmosphère par *e*, le refoulent par *gh* dans le réservoir T, d'où il est aspiré par *i*, au travers des grilles des déplaceurs, pour retourner, par les tamis MM. aux pompes X passer se détendre par *f* au cylindre moteur, puis s'échapper dans l'atmosphère. UV mise en train. LL valves de circulation.

ductrice réfractaire *a, B*, enveloppe métallique intérieure isolant de la masse *b* de matière non conductrice une couche mince *a* suffisante, pour empêcher cette enveloppe métallique intérieure de s'oxyder et de brûler; la matière non conductrice extérieure *b* est elle-même enveloppée dans une chemise de métal extérieur *C*, sus-

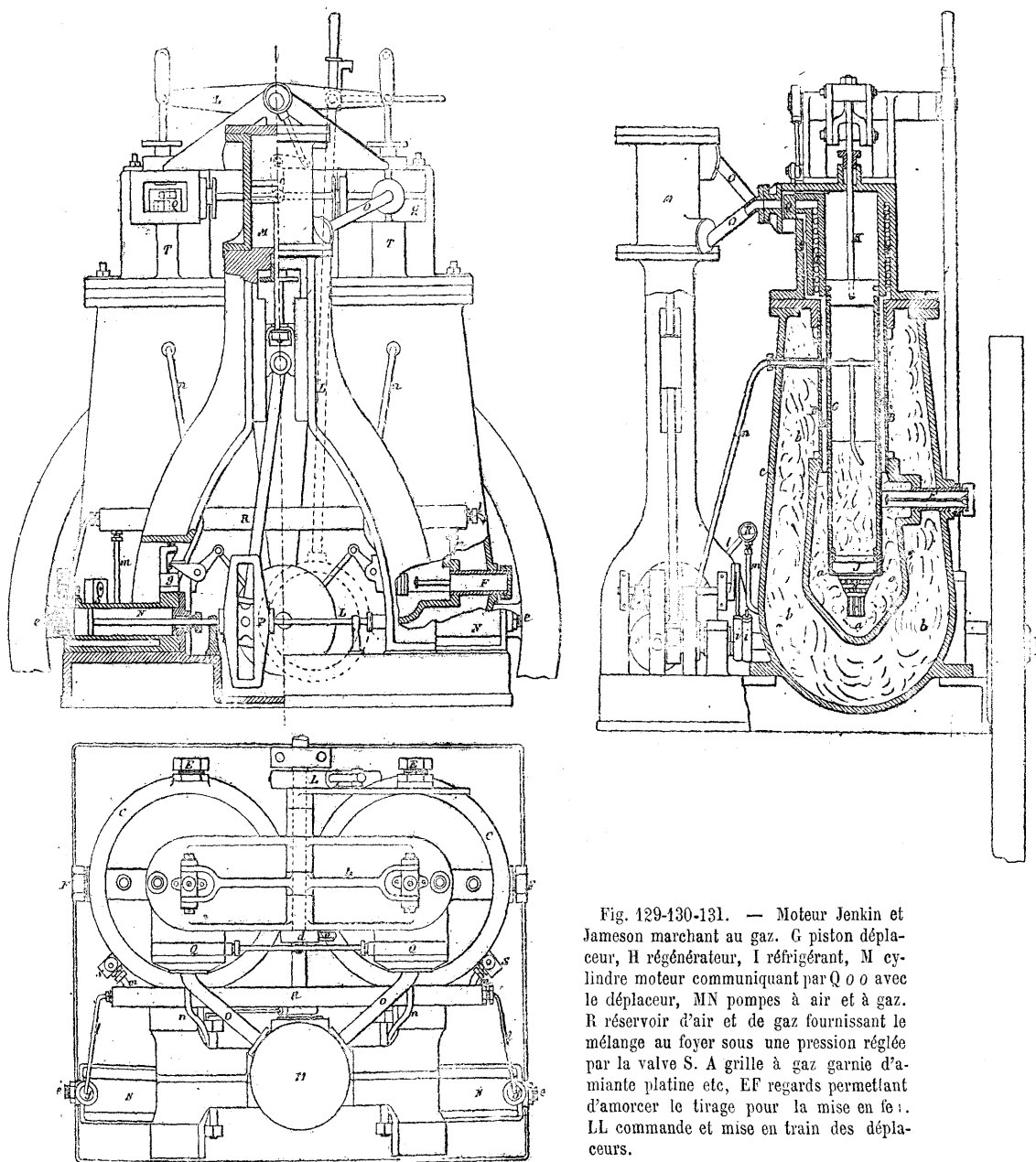


Fig. 129-130-131. — Moteur Jenkin et Jameson marchant au gaz. G piston déplaceur, H régénérateur, I réfrigérant, M cylindre moteur communiquant par Q o o avec le déplaceur, MN pompes à air et à gaz. R réservoir d'air et de gaz fournissant le mélange au foyer sous une pression réglée par la valve S. A grille à gaz garnie d'amiante platine etc, EF regards permettant d'amorcer le tirage pour la mise en feu. LL commande et mise en train des déplaceurs.

ceptible de résister à la pression de l'intérieur. La grille *A* est garnie de toutes substances convenables ayant la propriété de faciliter la combinaison de gaz dans leur pores lorsqu'elles sont suffisamment chauffées, comme le platine, la porcelaine, la terre réfractaire, les briques réfractaires. etc., lesquelles substances sont disposées de manière à présenter à l'action des gaz une grande surface sur laquelle le gaz et l'air peuvent se combiner entièrement ou en majeure partie sans flamme.

E, passage susceptible d'être ouvert par le retrait du tampon non représenté, et d'être raccordé à une cheminée pour le chauffage du bont chaud du vase de déplacement, préalablement à la mise en marche de la machine.

F, passage semblable ouvert pour l'admission du gaz et de l'air dans le même but. *D'* (fig. 132), tube par lequel le mélange de gaz et d'air entre dans la grille lorsque la machine est en marche : il est garni de verre ou autre matière convenable pour empêcher l'occlusion d'agir en retour de la grille.

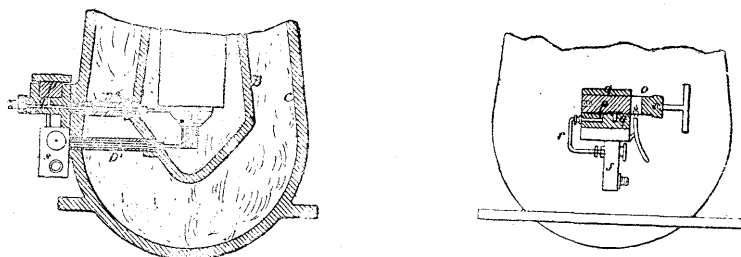


Fig. 132 et 133. — Détail du foyer à gaz. *A*, grille. *B*, enveloppe métallique isolante du foyer. *s*, valve régulatrice de la pression du mélange d'air et de gaz amené au foyer par *D*.

D, rallumeur. *o*, bec de gaz brûlant devant une ouverture du tiroir *p*, que l'on repousse d'abord devant le tuyau *r*, qui remplit cette ouverture d'un mélange d'air et de gaz, lequel s'enflamme, et, est ensuite amené devant le tuyau d'allumage *D*, en communiquant toujours avec *r*.

La figure 134 montre un autre arrangement de grille, où celle-ci peut être enlevée à volonté pour l'inspection. Le tampon *s*, qui porte la grille *A*, peut être tout entier ramené en arrière au moyen de l'écrou et de la poignée *t*, jusqu'à ce qu'il y ait un espace annulaire ouvert autour du siège *s* pour le passage de l'air se rendant à la grille *A*. On introduit par le tuyau *u* du gaz qui est allumé sur la grille et qu'on laisse brûler jusqu'à ce que le bont chaud du vase de déplacement ait atteint une température suffisante. Les produits de la combustion sont entraînés par la cheminée *E*. Dès que la machine est en marche, le mélange de gaz et d'air monte par le tube *w*, y entrant par la branche *u*, tandis que l'arrivée de gaz pur en *u* est interceptée par une valve convenable.

*D*², (fig. 133), est un second passage par lequel le mélange fourni à la grille peut être enflammé et l'occlusion se produire dans les cas où la température de la grille est tombée assez bas, par suite d'un long arrêt ou de tout autre cause, pour que sa température soit insuffisante à déterminer par elle-même l'occlusion, bien que le bont chaud du vase de déplacement ait conservé encore assez de chaleur pour la marche.

G, est le déplaceur; *H*, le régénérateur; *I*, le réfrigérant; *J*, la chambre chaude; *K*, la chambre froide.

Les plongeurs sont mus par les dispositions mécaniques marquées *L* dans les dessins. *M* est le cylindre principal communiquant avec les vases de déplacement par les passages *O*, et *N* sont les pompes et équilibreurs actionnés par le bouton de manivelle de la machine au moyen de la coulisse *P*.

Q, valves de circulation de tout nombre convenable; les dessins en représentent une pour chaque vase de déplacement. Des valves d'interception peuvent être placées sur les tuyaux O de façon à interrompre totalement la communication entre les vases de déplacement et le cylindre principal; mais elles ne sont pas nécessaires, à moins que la machine ne soit destinée à marcher à vitesse variable. Pour simplifier, on ne les a pas représentées dans le dessin. R, réservoir à gaz et à air. S, valves servant à maintenir un écoulement constant de gaz et d'air dans le fourneau, malgré les changements de pression qui s'y produisent. La construction de ces valves est actuellement bien connue et il est inutile de les décrire.

Les figures 132 et 133 représentent un arrangement par lequel le gaz et l'air peuvent être enflammés sur la grille. *o* est un petit jet de gaz qui brûle à travers un trou dans le coulisseau *p*. Si le coulisseau *p* est poussé rapidement entre le couvercle et le siège *q*, il coupe le sommet *a* de gaz *o* et, venant en face du passage D¹, enflamme le mélange de gaz et d'air, ce qui produit l'occlusion sur la grille; le petit tuyau *r*, communiquant avec le gaz, assure au tube D² une plénitude de mélange de gaz et d'air, de sorte que la flamme peut s'allonger le long du tube D² jusqu'à la grille. *x* est une lunette par laquelle on peut examiner l'état de la grille. Cette valve n'est pas représentée dans les autres vues de la machine.

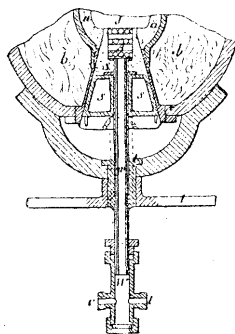


Fig. 131. — Variante du foyer à gaz. — J, foyer. A grille catalytique amovible à tampon ss. *uw*, amène du gaz pur au foyer, pour l'allumage, après avoir retiré le tampon par *t*. *vw*, arrivée normale du mélange d'air et de gaz.

La machine agit comme suit: on enlève les bouchons des passages E et F, et l'on place E en communication avec une cheminée. Le jet de gaz est introduit dans les ouvertures F F, où on le laisse brûler, ou bien on le pousse assez près de la grille pour que la combustion soit effectuée dans la grille elle-même ou sur sa surface à l'intérieur de la chambre chaude. On peut maintenir le tirage dans la cheminée soit en chauffant la cheminée directement ou par tous autres moyens convenables. Lorsque le bout chaud a atteint une température suffisante, on revisse les tampons dans E et F, l'appareil est entièrement clos, et le fluide d'action est admis dans les vases de déplacement soit d'un réservoir préalablement approvisionné, soit au moyen d'une petite pompe supplémentaire susceptible de fournir un mélange de gaz et d'air suffisant pour tenir la grille en combustion, ou bien de l'air frais ou de l'air brûlé.

Les déplaceurs sont alors isolés de la machine au moyen de l'engrenage L. Les pompes sont momentanément mises hors d'action, mais les équilibres continuent. Les plongeurs sont alors mus de haut en bas à la main ou par la machine, ce qui produit une différence de pression sur les deux côtés opposés du piston, et qui, à l'aide des équilibres, met en marche la machine. Aussitôt qu'elle a atteint une vitesse suffisante, les déplaceurs sont mis en marche par la tige et les leviers L; les pompes sont mises en mouvement et la machine travaille. Le cours des opérations dans le cylindre principal et le vase de défilacement est semblable à celui de l'ancienne machine Stirling, sauf quant aux modifications de son action résultant des valves circulantes. Les valves circulantes Q sont actionnées par un mouvement de sonnette *c*, qui est conduit par un excentrique *d*, monté sur l'arbre à bascule qui commande les déplaceurs. Cet excentrique est arrangé de façon que les valves circulantes guident l'air dans sa course ascensionnelle vers le bout froid des

vases de déplacement par les passages T, à l'écart du réfrigérant I, et lui font traverser le réfrigérant au retour.

Durant le cours ordinaire des opérations d'une machine Stirling dans les cylindres principaux, les opérations suivantes se produisent dans les pompes et les équilibreurs. Le pompage et l'équilibration s'effectuent dans deux cylindres N. Dans l'arrangement de machine à gaz représenté dans ces dessins, les bouts des cylindres que traversent les tiges de piston sont ceux dans lesquels s'effectue l'équilibration. Les autres bouts, qui ne sont pas traversés par les tiges, sont ceux où s'effectue le pompage.

Durant chaque course de la machine, il se produit dans ces cylindres quatre opérations distinctes, dont une à chaque bout de chaque cylindre, savoir:

1° Amener de l'air et du gaz par la valve *e*;

2° Le comprimer et l'envoyer par la valve *f* dans le réservoir R;

3° Recevoir une charge de fluide d'action à haute pression par la valve T et la détendre à la pression atmosphérique;

4° Délivrer cette charge dans l'atmosphère par la valve *h*. Ces valves *g* et *h* sont commandées par les excentriques *i*, montés sur l'arbre de couche de la machine, et les arbres oscillants K. Dans l'arrangement indiqué sur les dessins, la compression de la charge d'air et de gaz s'effectue toujours dans les mêmes bouts des mêmes cylindres, et l'action équilibrante se produit dans les autres bouts des mêmes cylindres. Ces cylindres peuvent être enveloppés d'une capacité d'eau. Les tuyaux *l* transportent la charge d'air et de gaz dans le réservoir R, d'où elle se rend par les tuyaux *m* aux valves à l'écoulement constant *s* et est délivrée par le tube D', (fig. 132), dans la grille A. Les tuyaux *n* alimentent les équilibreurs de fluide d'action, et sont reliés aux vases de déplacement à un point rapproché du milieu du régénérateur.

Nous construisons quelquefois nos moteurs en vue de l'emploi de combustible solide et de gaz.

Certains charbons ne conviennent pas à notre machine à combustible solide, parce qu'ils produisent une grande quantité de mâchefer et pour d'autres motifs. Nous traitons ces charbons par tout procédé connu pour en obtenir du coke et du gaz combustible. Le coke et le gaz sont alors, comme règle brûlés, simultanément dans le foyer de la machine.

D'autres sortes de charbon de combustion difficile sont de même brûlés avec du gaz dans le foyer de la machine.

Le foyer ou fourneau est de même construction que celui de nos machines à combustible solide.

Les tuyères pour l'admission de l'air ou du gaz sont placées de façon que l'air et le gaz combinés doivent passer à travers une certaine épaisseur de coke ou autre combustible solide accumulé dans le fourneau. Le combustible solide est alimenté de la manière déjà décrite à propos des fourneaux à combustible solide.

A tous autres égards, la construction est la même que celle ci-dessus décrite à propos des machines à combustible solide et à combustible gazeux.

Machine Shaw (1)

Cette invention consiste :

1° Dans une disposition ci-après décrite, composée de deux cylindres à simple effet, à pistons accouplés aux deux extrémités d'un balancier, avec un foyer et ses accessoires, situés commodément par rapport auxdits cylindres.

1. Brevet français 75414, 11 mars 1867. — Le cycle de cette machine se rapproche de celui de la fig. 3, p. 236. Une de ces machines fonctionnait à l'Exposition de 1867, à Paris. Elle avait deux cylindres avec des pistons différentiels de 450^m/₁₀₀ de course sur 610 et 400 de diamètre.

2° Dans une disposition et construction spéciales d'un cylindre à air chaud, avec un piston à garniture et un boisseau, lesquels, avec les garnitures nécessaires, les soupapes et autres accessoires, constituent une pompe à l'aide de laquelle de l'air froid est comprimé et dirigé dans le foyer pour y être dilaté par sa chaleur.

La pompe étant annulaire est exposée intérieurement et extérieurement à l'influence refroidissante de l'atmosphère ; et, pendant la compression, comme l'air alimenté est opéré par la pression directe de l'air chaud dilaté sur le piston de la machine, l'effort nécessaire à la compression de cet air est appliqué directement et n'est pas transmis dans les organes rotatifs du mécanisme.

Grâce à cette disposition annulaire de la pompe, je puis réduire la hauteur qui serait autrement demandée par ma machine ; elle oscille dans le boisseau et présente ainsi des facilités pour empêcher l'échauffement de l'articulation de la bielle avec le piston, de même que pour la lubrifier.

3° Dans une construction de cylindre, fig. 135 et 137, qui consiste en une chambre établie autour de l'intérieur du cylindre, à cette partie où le rebord inférieur de la position du piston à ajustement étanche arrive au point le plus bas de sa course : cette chambre reçoit de l'air pur, froid et comprimé par des moyens ci-dessus indiqués, afin d'empêcher l'échauffement de la garniture du piston et de cette partie de la surface intérieure du cylindre contre laquelle le piston se meut, ainsi que pour empêcher que les produits solides ne s'élèvent dans la partie supérieure du cylindre avec chaque livraison provenant du foyer.

4° Dans l'emploi d'une soupape auxiliaire fonctionnant pour admettre, du réservoir dans lequel l'air est maintenu sous pression, de l'air comprimé comparative-ment froid dans la chambre circulaire entourant le cylindre et dans les espaces à l'intérieur communiquant avec le cylindre, et pour maintenir les surfaces dressées du piston ainsi que du cylindre aux endroits où ils se meuvent l'un contre l'autre à une température qui n'empêchera pas la lubrification.

5° A régler la vitesse des machines à air chaud en plaçant une soupape fonctionnant par le régulateur de la machine de sorte qu'elle n'obstruera pas le passage de l'air de la pompe à air au cylindre travaillant, et engendrer ainsi une résistance additionnelle au mouvement du piston de la pompe à air, ladite résistance continuant à agir contre le mouvement du piston jusqu'à ce que la vitesse de la machine soit réduite à sa vitesse normale.

Par la méthode ordinaire, c'est-à-dire celle qui consiste à régler la vitesse de la machine par le régulateur de fuite ou, en d'autres mots, à augmenter ou diminuer la pression, la puissance de la machine est réduite au travail actuellement en opération, quoique ce travail puisse n'être qu'une dixième partie de celui que la machine est capable d'émettre ; si, pendant la marche de la machine, on la charge soudainement d'une grande somme de travail qui exigera la plus grande partie de sa puissance normale, cela aura pour résultat d'enrayer sa vitesse à tel point, qu'elle ne pourra récupérer sa pression, et, de cette manière, elle sera arrêtée complètement.

Suivant ma méthode, toute augmentation de vitesse agira sur la soupape régulatrice de manière à faire obstruer le passage de l'air de la pompe au cylindre, et procurera une résistance additionnelle à l'action de la pompe qui sert à contrôler la machine, tandis qu'en même temps la pression est maintenue à son point normal, laissant ainsi la machine toujours prête à émettre au besoin son maximum de puissance.

On verra que, par ma méthode, la machine peut même être arrêtée par la soupape régulatrice, et, que cependant, la pression dans le cylindre reste à son point normal, de sorte que la machine est prête à repartir sans qu'il y ait nécessité de rétablir une pression de fonctionnement.

La méthode ordinaire de régler la vitesse d'une machine en laissant échapper

de l'air condensé et en réduisant ainsi la pression est vicieuse en raison de la perte de temps que demande la machine pour regagner sa pression voulue.

La méthode ordinaire ne contrôlera pas la vitesse d'une machine, quand elle est soulagée de travail, aussi rapidement que la mienne, pour la raison qu'elle réduit simplement la pression sur le piston, tandis que, par ma méthode, je réduis la pression sur le piston et en même temps j'augmente celle sur la pompe, opérant ainsi une double action pour contrôler la machine; et encore, lorsqu'on augmente subitement la charge d'une machine pourvue de mon régulateur, elle possède déjà la pression nécessaire, et elle regagne sa vitesse de suite; mais une machine avec le régulateur ordinaire demande du temps pour établir la pression correspondante au travail.

6° A refroidir tous les organes essentiels de la machine en établissant une circulation d'air froid autour des différentes parties de la machine.

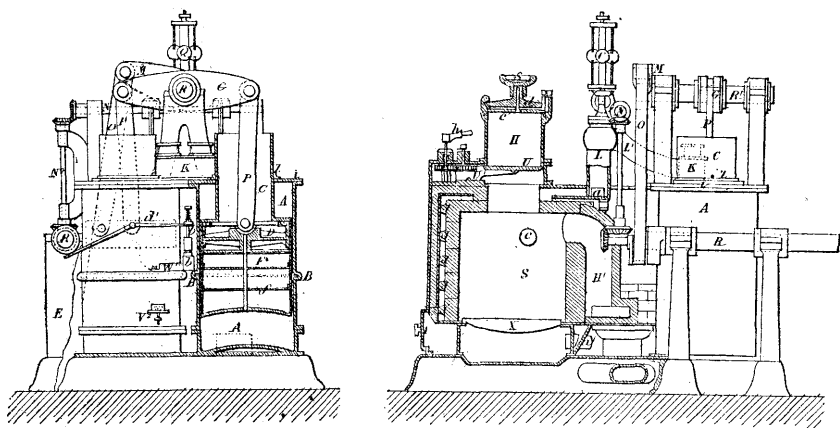


Fig. 135 et 136. — Moteur Shaw. Elévation. — Demi-coupe par le cylindre moteur et coupe verticale WX (fig. 138), par le foyer.

A, cylindre moteur dont le piston DF, cloisonné en *f*, et rempli de matières non conductrices, est articulé en D à la bielle P, qui le relie par le balancier G et la bielle P' à l'autre piston moteur symétrique. M, levier calé sur l'arbre R' du balancier G, actionnant par la bielle o l'arbre moteur R. C, fourreau du piston moteur traversant le stuffing box *r*, de manière que la partie supérieure *i* du cylindre moteur serve de pompe aspirant l'air dans l'atmosphère et le refoulant au foyer.

B, chambre ou garniture d'air annulaire séparant la partie supérieure et alésée du cylindre moteur de la partie inférieure, et recevant du tuyau *u* (fig. 139) et de la soupape auxiliaire *b* une chasse d'air comprimé froid, venant directement de la pompe. La soupape *b* est manœuvrée par un levier *d*, qui l'ouvre un peu avant l'admission de l'air chaud du foyer, de sorte que B agit à la fois comme une chasse d'air protégeant la garniture du piston de la chaleur et des impuretés de l'air moteur et comme un équilibreur partiel de pression facilitant l'ouverture de la soupape d'admission.

S, foyer clos par une trémie de chargement H, et pourvu d'une garniture réfractaire *j*, autour de laquelle passe l'air refoulé par la pompe au travers du tuyau L. Ce foyer communique par H' avec la soupape d'admission du cylindre moteur.

N₂, transmission actionnant l'arbre de distribution N.

L'importance de cet effet ne saurait être exagérée; car, de fait, toute la valeur pratique d'une machine à air peut être estimée, les autres considérations étant égales, par le rapport entre ses organes travaillants et la pression engendrée; ou, en d'autres mots, une machine à air ne peut pas fonctionner régulièrement et éco-

nomiquement, à moins que ses organes de travail ne soient maintenus relativement froids.

7° Dans la combinaison et disposition d'un chauffeur auxiliaire *C'*, fig. 139 et 140, qui peut être employé pour chauffer l'air d'induction ou pour convertir de l'eau en vapeur, c'est-à-dire comme générateur de vapeur.

8° Dans une disposition d'alimentation de combustible pour la boîte de foyer, à l'aide de laquelle le feu peut être alimenté et la boîte rechargée pendant que la machine fonctionne, et dans l'addition d'un petit reniflard communiquant avec un orifice qui conduit directement dans le cylindre travaillant, dont le but est d'admettre de l'air sous le piston lorsque la machine est mise en marche, de manière à la soustraire à l'action de ralentissement de la pression de l'atmosphère.

9° Dans un perfectionnement apporté aux soupapes de pompe d'entrée et de sortie, grâce auquel on évite en grande mesure le bruit résultant de la marche de ces organes suivant leur construction actuelle.

J, garniture intérieure en briques réfractaires munies de projections *j*, qui les séparent de la garniture extérieure *J'*, laissant un espace à air entre ces deux garnitures enveloppant entièrement le foyer.

A', (fig. 138 et 139), enveloppe étanche entourant entièrement le foyer, et dont la partie supérieure et le fond constituent un réservoir étanche pour l'air comprimé, et qui comprend le foyer, les soupapes d'entrée et de sortie et la plupart des tuyaux à travers lesquels la plus grande partie de l'air circule.

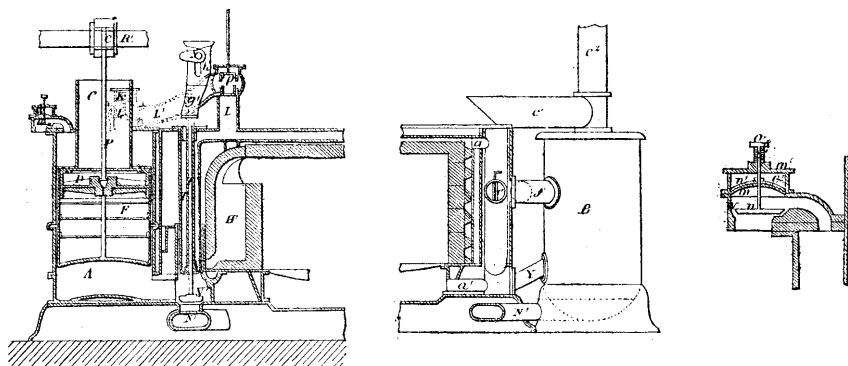


Fig. 137, 140 et 141. — Moteur Shaw. Coupe YZ (fig. 139). — Générateur réchauffeur B et détail de la soupape d'aspiration *n*. *t*, soupape de refoulement amenant l'air comprimé de la pompe au foyer, en *a*, par *k*, le tuyau *L'*, la valve d'étranglement *p*, soumise au régulateur et le tuyau *L*. *V*, soupape admettant au cylindre moteur *A* les gaz du foyer. *V'*, soupape échappant ces gaz, à la descente du cylindre moteur, par *N'c'*, au travers du réchauffeur *B*. *n*, soupape d'aspiration de la pompe préservée des battements par un petit matelas d'air *m*, et suspendu à un ressort *o'*.

c (fig. 136, 138 et 139), tirage direct ou orifice pour l'échappement des produits de la combustion quand le feu est allumé en premier lieu; mais il peut être fermé par une soupape ou une porte semblable en construction à celle indiquée par la boîte à feu *H* (fig. 138), lorsque le feu est bien pris.

J, ouverture pour les cendres qui conduit directement dans le foyer.

Les ouvertures du foyer ainsi que du cendrier sont munies des portes qui sont adaptées d'une manière étanche et construites comme la porte *c* de la boîte *H* (fig. 136).

H, récipient d'où le combustible est dirigé sur le feu pendant le fonctionnement de la machine à travers le dessus du foyer; cette boîte est pourvue d'une porte de réception *c'* (fig. 136), adaptée hermétiquement et armée d'une traverse *d* avec une vis *s* pour son attachement.

Le fond de cette boîte H est pourvu d'une porte à coulisse ou valve U (fig. 136 et 137), qui est opérée par le bras oscillant U', lequel porte des dents sur sa partie postérieure, comme on le voit dans le dessin, et ces dents engrènent dans le pignon F', qui est mis en mouvement par un levier *h*; par cette disposition, et une manipulation convenable que l'on comprendra à l'aide du dessin, il est évident que le feu peut être alimenté de combustible pendant que le foyer contient de l'air comprimé suffisamment pour faire fonctionner la machine sans réduire la pression.

Le foyer est pourvu d'une ouverture *a* (fig. 136, 138 et 140), située au-dessus de la grille, et d'une seconde ouverture *a'* (fig. 136 et 140), située au-dessous de la grille, à travers lesquelles l'air sous pression est alimenté au foyer.

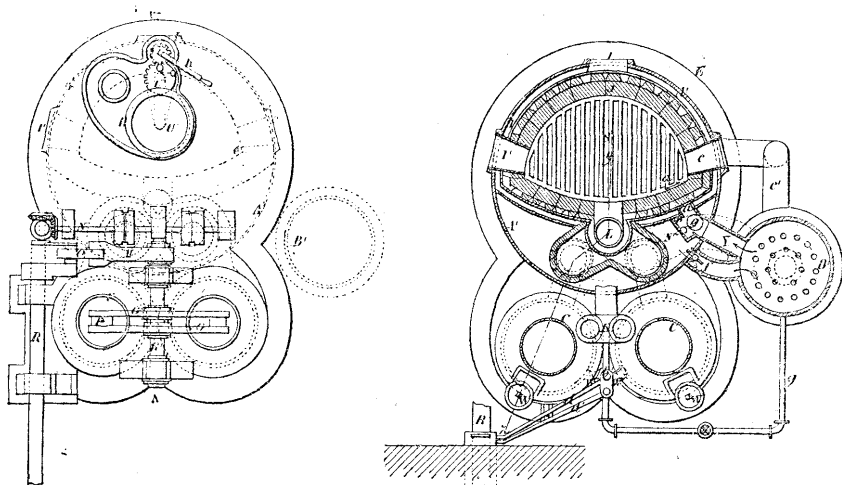


Fig. 133 et 139. — Moteur Shaw, plan et coupe horizontale par le foyer.

S, grille *c c'* (fig. 136), tirage direct pour la mise en feu du foyer, et que l'on ferme ensuite. I, porte de chargement du foyer pour la mise en feu. H (fig. 136), trémie de chargement pourvue de deux fermetures: une fermeture supérieure *c*, serrée par la vis *d*, et une fermeture intérieure *u*, manœuvrée de l'extérieur par la manivelle *h*. W W, dessus des soupapes d'aspiration de l'air aux pompes. L, tuyau de refoulement de l'air au foyer. F Y G, dérivation de l'air du foyer autour du réchauffeur B', quand on le fait agir comme vaporisateur. *g*, tuyau amenant, dans ce cas, la vapeur de B' à la soupape auxiliaire *b* (fig. 135).

Les cylindres travaillant, au nombre de deux, sont posés à un écartement convenable l'un de l'autre, de manière que les deux pistons puissent agir sur le même balancier; ces cylindres sont à simple effet, c'est-à-dire que le piston de chacun d'eux est soulevé par l'admission au-dessous de l'air comprimé et chaud et des gaz provenant du foyer, les deux pistons étant reliés au balancier G par les bielles P (fig. 135), de sorte que la descente d'un de ces organes est produite par l'élévation de l'autre agissant sur la bielle P et le balancier G.

Les cylindres A sont divisés en deux sections par l'espace annulaire B (fig. 135); la partie située au dessus de cet anneau est alésée juste et rodée, de sorte que le

piston D pourra y fonctionner comme le piston d'un cylindre à vapeur; la partie inférieure du cylindre reste brute de fonte.

Cette partie du piston, qui est marquée D (fig. 135 et 137), est presque semblable, quant à sa garniture, à un piston de machine à vapeur, et il ne nécessite pas une plus grande explication que celle indiquée par le dessin.

Immédiatement au-dessus de la partie D, se trouve le boisseau C, ces deux pièces faisant corps ensemble; c'est dans ce boisseau que la bielle P (fig. 135, 136 et 137), joue, et elle est reliée au piston D par une articulation indiquée (fig. 135) et qui ne peut s'échauffer en raison de sa communication directe avec l'atmosphère et de la facilité avec laquelle on peut la lubrifier.

Le boisseau passe à travers le couvercle supérieur *i* (fig. 135 et 136), qui est muni d'étoupes ou de garniture sous la bague Z, qui sert à le guider.

Sur ce couvercle *i* est montée une soupape *t* (fig. 137), et lorsque celle-ci est soulevée par la compression de l'air dans l'espace annulaire situé entre le boisseau et la section supérieure du cylindre, elle livre passage audit air comprimé à travers la boîte à soupape K et les tuyaux L¹ L² dans le réservoir.

Le cylindre supérieur est armé d'une soupape *n* fonctionnant dans la boîte, laquelle, en s'ouvrant, a pour mission d'admettre de l'air dans la pompe annulaire lorsque le piston descend, et de se fermer et de rester fermée en d'autres moments; cette soupape est représentée en coupe figure 141, et elle a une chambre à air C', dans laquelle fonctionne un disque *n'* attaché à la tige de la soupape O'.

Ce disque *n'* et la chambre C servent à contrôler l'action subite de la valve *n'*, l'air dans la chambre C agissant comme un ressort *n*, de sorte qu'elle ne peut pas trépidier rapidement, comme elle pourrait autrement le faire.

La tige de soupape O' est pourvue d'un ressort S', de sorte que la soupape *n* est suffisamment contrôlée dans sa descente pour éviter tout bruit.

La boîte à soupape de sortie K est de construction semblable, mais elle n'est pas pourvue du ressort S.

Le piston D porte le boisseau cylindrique, qui est une continuation du piston, mais d'un diamètre plus petit que le cylindre A et d'une longueur telle, que lorsque le piston est au bas de sa course, le fond du boisseau vient très près du cylindre. J'ai soin pourtant de laisser un jeu suffisant tant en haut qu'en bas.

La chambre B, entourant le cylindre, communique avec l'air comprimé de la chambre à soupape à la sortie de la pompe, de sorte qu'elle est comparativement pure et froide.

La communication a lieu au moyen du tuyau U (fig. 135 et 137), qui se termine par la boîte à soupape auxiliaire *b*, contenant des soupapes mues par un mécanisme quelconque approprié. Celui qui est indiqué consiste en une came sur l'arbre moteur agissant sur des leviers *d'*, et, par leur entremise, sur la tige de soupape *b* pour l'ouvrir contre la pression d'un ressort dont la réaction sert à le refermer; on verra que, lorsqu'une de ces soupapes sera ouverte, l'air pénétrera dans le tuyau U et de là dans l'espace annulaire. Si cette soupape est ouverte, comme elle devrait l'être après que la soupape d'aspiration est fermée, et avant que l'entrée principale s'ouvre, tout le jeu ou espace inoccupé dans les cylindres et les conduites de soupapes sera rempli d'air pur très légèrement chauffé et d'une densité égale à celle de l'air existant entre l'enveloppe et le foyer.

Le but de l'introduction de l'air par le tuyau U', à ce moment et à cet endroit, est motivé par trois considérations :

1° En établissant une pression identique sur chaque face de la soupape d'entrée, elle est équilibrée et elle fonctionne en équilibre, d'où il résulte que la puissance nécessaire à sa marche est réduite à un minimum;

2° En remplissant les espaces du cylindre avec de l'air pur, celui qui y arrive ensuite du foyer n'entraînera pas du même temps les produits solides de la com-

bustion dans la jonction ou espace annulaire entre les endroits dressés du cylindre.

3° Par l'introduction de l'air froid comprimé, comme il a été ci-dessus décrit, la température des parties dressées du piston et du cylindre qui viennent en contact est maintenue suffisamment basse pour permettre une lubrification efficace.

V (fig. 137), soupape d'entrée qui correspond au tiroir sur la machine à vapeur; cette soupape est ouverte au commencement de la course ascendante du piston, mais se referme aux trois quarts environ de la course du piston, ou à tel point qui donnera les meilleurs résultats. Vers le moment où la course ascensionnelle du piston cesse, et après que la soupape d'entrée V a été refermée, la soupape d'aspiration V' s'ouvre et permet au contenu du cylindre de s'échapper et d'être chassé par la descente du piston dans le tuyau d'aspiration N (fig. 137, 138 et 139), et de là dans le chauffeur auxiliaire B' (fig. 138 et 139), d'où il va vers la cheminée C².

Les soupapes représentées dans le dessin sont à tige, et elles sont mues en tout temps par de petites cames attachées à l'arbre N (fig. 138), lequel est mis en mouvement par l'arbre N' (fig. 135), qui est relié par des engrenages à l'arbre moteur R.

Le papillon *p* (fig. 3), disposé dans le tuyau à froid L' L, sert à régler la vitesse de la machine, étant relié par sa tige au régulateur Q (fig. 135 et 136), de sorte qu'à mesure de l'augmentation de la vitesse de la machine, l'orifice réunissant L' L se referme plus ou moins, offrant ainsi une résistance au mouvement du piston ou, en d'autres mots, augmentant la pression arrière jusqu'à ce que la vitesse soit réduite à la marche normale; et quand la machine marche trop lentement, cette action ou effet est renversée.

V² (fig. 135), petit reniflard placé près du fond de chaque cylindre, et recouvrant un orifice qui conduit de l'air du dehors directement dans le cylindre; cet organe est destiné à donner passage à l'air pour détruire le vide qui se ferait autrement pendant la mise en marche de la machine, et avant qu'une pression convenable soit produite.

B (fig. 139 et 140), chauffeur auxiliaire ou générateur de vapeur (comme il est alternativement à ces deux fins) qui consiste essentiellement dans un cylindre rempli de petits tubes métalliques disposés de manière que l'air chauffé d'échappement, s'écoulant par le tuyau N passera à travers les petits tubes et, de là, à la cheminée C².

Au passage de l'air chaud d'échappement à travers ces tubes, il abandonne une grande partie de son calorique, qui est absorbé en premier lieu par le métal des tubes et ensuite repassé à l'air froid qui les entoure, ou bien, dans le cas où cet appareil est utilisé comme générateur de vapeur, à l'eau qui les entoure.

Lorsque cet appareil est employé comme chauffeur auxiliaire, l'air froid y arrive par le tuyau *f* et, après avoir circulé autour des tuyaux, il retourne par ceux *g*, *a* (fig. 140), dans la partie supérieure du foyer. Les tuyaux *f*, *g* sont chacun pourvus de clapets, de sorte que l'un ou l'autre peut être fermé; si *f* est fermé, l'air ne circule pas à travers le chauffeur auxiliaire, où une certaine quantité de cet air peut passer par le tuyau *y a'*, dans le cendrier et de là dans le foyer.

Lorsqu'on désire employer B, comme générateur de vapeur, les tuyaux *f*, *y* sont séparés et leurs orifices correspondants fermés d'une manière étanche; le tuyau à vapeur *g'* (fig. 139), est ensuite monté, établissant une communication entre le chauffeur auxiliaire et les boîtes à soupapes auxiliaires *b*, indiquées (fig. 135); le générateur B' étant partiellement rempli d'eau, il est prêt à fonctionner pour former de la vapeur qui peut être employée pour augmenter la puissance de la machine ou pour le chauffage ou autres buts industriels.

Pour commencer le feu sur les grilles, les soupapes d'entrée et de sortie doivent être ouvertes aussi bien que la porte du cendrier, afin d'établir un tirage à travers la machine et passant par le cylindre et le chauffeur auxiliaire; dans le cas où l'on

ne peut pas obtenir un tirage suffisant de cette manière, alors la soupape ou registre monté dans le tirage direct *c'* devrait être ouverte; un tirage ascensionnel est ainsi obtenu. Lorsque le combustible est bien pris, toutes les portes et soupapes à travers lesquelles l'air peut passer pour entrer dans le foyer ou en sortir doivent être fermées d'une manière étanche.

L'arbre moteur de la machine elle-même peut être tourné à l'aide de moyens appropriés, et alors les pompes formant partie de la machine injecteront l'air nécessaire au foyer.

Lorsqu'une pression suffisante a été obtenue pour faire tourner la machine, l'effort premier peut être discontinué, de même que la dilatation de l'air fourni par les pompes de la machine continuera à augmenter la pression de l'air à l'intérieur du foyer, jusqu'à ce que la machine soit appelée à exécuter un certain travail pour absorber la puissance obtenue.

Moteur Hirsch ⁽¹⁾

Dans un présent brevet „ j'ai exposé les principes sur lesquels sont basés les appareils dont je vais donner une description détaillée, en faisant connaître les perfectionnements que j'y ai apportés.

Conformément à ces principes, on reconnaîtra que ces divers appareils offrent la disposition comme suivante :

Ils se composent de deux cylindres : l'un, que j'appelle *cylindre chaud*, est exposé aux hautes températures et construit en matériaux réfractaires maintenus dans une enveloppe métallique ; il est parcouru par un piston garni d'une tête réfractaire.

L'autre cylindre, que j'appelle *cylindre froid*, est métallique et parcouru par un piston métallique.

Ces deux cylindres sont mis en communication par un appareil que j'appelle *régénérateur de chaleur* ; c'est un récipient à garniture réfractaire laissant un vide central parcouru par le gaz qui va de l'un à l'autre des cylindres, et occupé par un grand nombre d'aiguilles réfractaires minces et serrées, qui, superposées et entrecroisées, laissent entre elles des vides d'une section totale suffisante pour la libre circulation de fluide gazeux, auquel elles offrent une grande surface de contact sous un petit volume.

Ce régénérateur représente, par une sorte de progression régulière, les températures très-différentes qui règnent dans les deux cylindres, c'est-à-dire, que la partie de la pile d'aiguilles en rapport avec le cylindre chaud est sensiblement à la même température que lui, et que l'autre extrémité du régénérateur est sensiblement à la même température que le cylindre froid ; entre ces deux extrémités, la température décroît de couche en couche.

Si donc je suppose aux pistons un mouvement ordinaire de va-et-vient alternatif, et que, dans la partie chaude, se fasse en temps voulu une injection de gaz ou de liquide combustible susceptible de s'enflammer à son introduction, la masse d'air renfermé dans l'appareil se déplacera pour passer de l'un des cylindres à l'autre, et *vice versa*, en traversant bien entendu le régénérateur, de telle façon que, fortement chauffée et dilatée dans le cylindre chaud, elle s'écoulera par le régénérateur en lui abandonnant progressivement sa chaleur, et parviendra froide dans le cylindre froid.

1. Brevet français 102039, du 31 janvier 1874 et certificat du 26 juin 1874.

2. Voir le mémoire de M. Hirsch « *Théorie des machines aérothermiques* » 1 vol., Dunod, 1874.

Dans le mouvement en sens contraire, l'air repassera par le régénérateur en se réchauffant successivement, et, lorsqu'il sera parvenu de nouveau dans la partie chaude, une nouvelle injection de gaz combustible s'effectuera pour rendre à l'air la quantité de chaleur représentant celle qui a été utilisée au profil d'un travail mécanique ou calorifique.

C'est en somme sur ce principe de la mise en circulation de l'air dans ces enceintes où il se trouve alternativement refroidi et réchauffé que sont basés les appareils suivants :

1° Une *machine directe*, c'est-à-dire une véritable machine motrice, dans laquelle l'air chauffé et déplacé dans les conditions ci-dessus est la source de force motrice dont la machine est le récepteur ;

2° Un *générateur de pression*, c'est-à-dire, un appareil propre à comprimer de l'air dans un réservoir, d'où il peut être distribué pour transmettre de la force motrice à des distances plus ou moins considérables, et à un ou plusieurs récepteurs à la fois ;

3° Une *machine soufflante*, dans laquelle l'air est utilisé comme air chaud et insufflé directement par cette machine même et par une conduite dans un haut fourneau.

La machine directe se compose (fig. 140 à 143) d'un cylindre de fonte *A*, qui forme surtout la base du cylindre chaud et actif constitué par un corps annulaire *B*, en matière réfractaire maintenue extérieurement par une enveloppe de tôle *B'*.

A l'intérieur de ce cylindre se meut le piston de fonte *C*, qui présente à sa partie supérieure une masse réfractaire *C'*.

Ce piston est relié par une bielle *D* avec le bouton de manivelle d'un arbre de couche *E* ; à cette même bielle se rattache une seconde bielle *F*, dont l'autre extrémité est reliée avec un piston métallique *G*, se mouvant dans un second cylindre *H*, qui est le cylindre froid.

Légende des figures 140 à 143. — *Hirsch. Moteur à gaz à combustion continue. Coupe longitudinale : vue par bout : coupe horizontale 1, 2, 3 (fig. 140).*

C, piston moteur, à masse isolante *c'*, attaquant l'arbre moteur par la bielle *D*, et conjugué par la bielle *F* au piston *G* du déplaceur ou cylindre froid *H*. *A*, cylindre moteur à simple effet, à garniture réfractaire *B*, communiquant en *a* avec le régénérateur *J*. *L*, pompe aspirant de l'air dans l'atmosphère et le refoulant, par le tuyau *c* et le canal *b*, dans le déplaceur *H*. *M*, pompe à gaz aspirant en *J* le gaz du gazogène et le refoulant par *J*₂ au cylindre moteur ; la bielle *M'* de cette pompe est mue par la transmission (*i h g*) avec une amplitude qui dépend de la position du coulisseau *f*. *P*, pompe injectant de l'air dans le cylindre *H* par le tuyau *l*. *N*, réservoir de pression, communiquant avec le cylindre *H* par le conduit *k*, et pourvu d'une soupape *o* d'échappement des gaz brûlés et de l'eau injectée, manœuvrée par le talon *o*₂ de la bielle *P'*. *m*, soupape de retenue réglant la pression du réservoir *N* par un ressort soumis au régulateur *R'*. *B*₂, ouverture de mise en train permettant d'introduire au cylindre moteur un courant initial d'air chaud, puis de flammes. *b*, robinet à poignée *b*₂ permettant d'étrangler plus ou moins le conduit *b*, et de régler à la main la vitesse du moteur. *A*, garniture hydraulique à segment *pp*, constituée par de l'eau sous pression refoulée de la chambre *N*, par *q*, au réservoir *S*, amenée de *S* à *A'* par *q'*, y revenant par *q*₂ et s'en déchargeant par *q*₃.

Si l'on examine la relation du cylindre chaud *B* avec le cylindre froid *H*, on voit qu'elle est établie par une sorte de canal non interrompu, qui se compose d'abord du canal *a*, ménagé au centre d'une masse réfractaire *a'*, faisant immédiatement suite à la propre masse du cylindre chaud *B*, et armée comme elle d'une enveloppe extérieure de tôle *a*².

Ce canal supérieur *a* vient aboutir immédiatement à l'organe important que j'appelle *régénérateur*, qui se compose du corps cylindrique et réfractaire *I*, muni de son enveloppe métallique *I'*, et garni intérieurement de cette pile d'éléments réfractaires *J*, que traverse l'air pour passer d'un cylindre dans l'autre.

Ce régénérateur se trouve effectivement appliqué sur une base appartenant au cylindre *H*, et qui se trouve percée d'un canal *b*, mettant en rapport direct l'intérieur de ce cylindre avec la partie inférieure de la pile *J* d'éléments réfractaires.

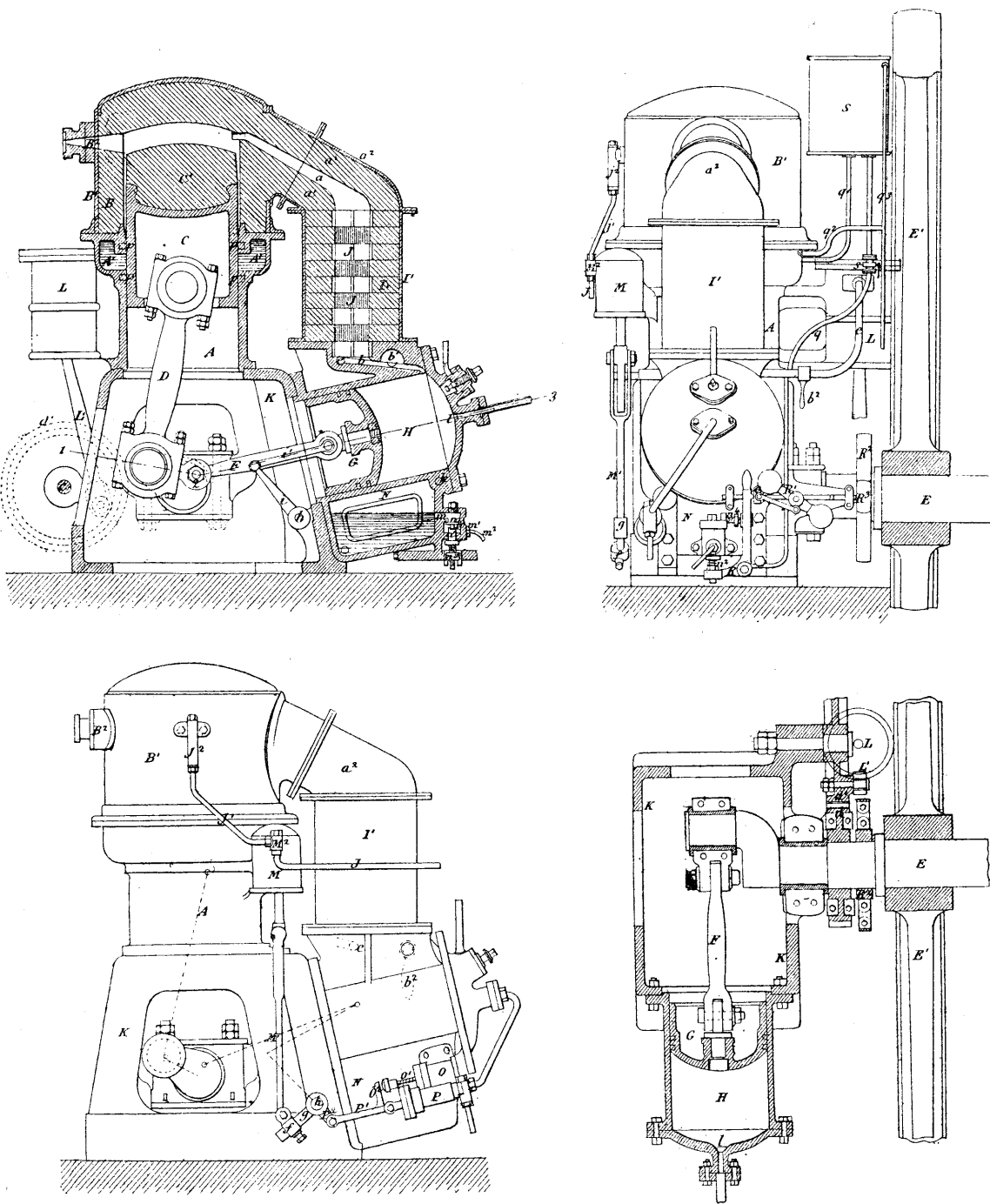


FIG. 140, 141, 142 ET 143.

Sur ce canal de communication b , se trouve réservé un obturateur mobile b' , ayant la forme d'un demi-cylindre dont le diamètre s'aligne avec la paroi du conduit b lorsque ce conduit est complètement ouvert, tandis que, pour le fermer, on fait tourner sur lui-même le cylindre b' , qui prend la position représentée en ponctués.

Cet organe permet de modérer la vitesse de la machine à la main en agissant sur la poignée b_2 , dont son axe est pourvu extérieurement fig. 141.

Ces deux cylindres se rattachent d'ailleurs à un socle de fonte K, qui leur sert de support, ainsi qu'à l'arbre de couche E et à divers organes accessoires.

Voici l'indication de ces organes accessoires les plus importants :

C'est d'abord une pompe à air frais L, appliquée sur le côté du cylindre A, et dont le piston se rattache à une bielle L', qui prend son mouvement sur un axe intermédiaire c, lequel est, lui-même mis en mouvement par l'arbre principal E et par une paire de roues droites d, d' .

Cette pompe, puisant directement dans l'atmosphère, a pour mission de fournir à chaque révolution de la machine de l'air pur pour remplacer l'air brûlé qui est périodiquement expulsé; cette pompe est mise en communication, à cet effet, avec le cylindre H par le conduit e , qui vient déboucher dans le canal inférieur b .

J'ai ensuite à signaler une pompe plus petite M, fig. 141 et 142, qui est la pompe à gaz combustible.

La chaleur est maintenue dans la machine au moyen d'une injection de gaz ou de liquide combustible, qui s'enflamme aussitôt son entrée dans la partie chaude de l'appareil.

S'il s'agit, par exemple, de gaz combustible, il est engendré dans un appareil ou gazogène indépendant, dans lequel s'opère la transformation du combustible solide en combustibles gazeux.

Cette pompe M, dont l'objet est d'injecter ce gaz dans la partie supérieure du cylindre réfractaire B, a son piston dépendant d'une tige verticale M', dont l'extrémité inférieure est assemblée sur un coulisseau f , lequel est ajusté sur un bras de levier g dépendant d'un axe h , dont l'extrémité opposée, fig. 140, est armée du bras de levier i , relié par la bielle i' avec le boulon d'assemblage du piston froid G.

Il en résulte que l'axe h reçoit ainsi un mouvement d'oscillation qui se transforme, pour la bielle M', en mouvement alternatif qui doit être celui du piston de la pompe M; à la faveur du coulisseau f , qui peut être déplacé sur le levier g , la course du piston à gaz combustible peut être modifiée à volonté.

Les corps de pompe M est pourvu d'ailleurs de la boîte à clapets M², à laquelle aboutit le tuyau J, parti du gazogène, et d'où part le tuyau J', qui communique par l'intermédiaire d'une pièce de raccord J², remplie d'une pile de toiles métalliques, avec la partie supérieure du cylindre B.

Le réservoir de pression est une chambre close N, ménagée au-dessous du cylindre froid, avec lequel elle est mise en communication intermittente, et qui est en partie remplie d'eau, fig. 140, tandis que le surplus de cette capacité renferme de l'air maintenu à une pression en rapport avec celle à laquelle la machine doit fonctionner.

La communication entre le cylindre H et la partie supérieure du réservoir de pression est établie par le canal k , qui vient aboutir extérieurement à une boîte O (fig. 142) renfermant une soupape de retenue dont la tige O', entourée d'un ressort à boudin, se termine par un bouton sur lequel vient appuyer un talon O², qui doit au mécanisme même un mouvement de va-et-vient correspondant à celui des deux pistons C, G; d'où il résulte que, cette soupape de retenue s'ouvrant et se fermant à chaque révolution de la machine, l'échappement de l'air brûlé s'effectue dans les mêmes instants du cylindre H au réservoir de pression.

Il s'échappe en même temps, du cylindre H dans le même réservoir, l'eau réfrigérante qui s'y trouve incessamment injectée par le tuyau à pomme d'arrosoir L.

Cette eau, injectée dans le cylindre H, et destinée à refroidir l'air qui tend à s'échauffer dans ce cylindre, est fournie par une petite pompe P, dont le piston est commandé par la bielle P', assemblée avec le bras de levier P² solidaire de l'axe oscillant h.

C'est sur cette même petite bielle P' qu'est réservé le talon O² qui fait agir la soupape de retenue et d'échappement, mettant en rapport alternatif le cylindre H et le réservoir de pression N.

Cet exposé général me permet maintenant d'expliquer le fonctionnement de la machine.

La mise en route nécessite quelques manœuvres préliminaires, dont je ne citerai que la principale, qui consiste à élever suffisamment la température de la partie qui doit être chaude en introduisant dans le cylindre B, par le regard spécial B², dont il est pourvu, un courant d'air chaud d'abord, puis un courant de flammes.

On a eu aussi la précaution de remplir d'eau le réservoir de pression N jusqu'au niveau de l'ouverture de la soupape d'échappement.

Le gazogène étant prêt à fournir du combustible, et le piston de la pompe à gaz M étant réglé pour son maximum de course, on fait faire un ou deux tours à la machine au moyen du volant E', et la mise en marche régulière commence.

L'air qui remplit la machine, obéissant aux mouvements des deux pistons C. G, circule d'un cylindre à l'autre, éprouvant alternativement une élévation de température considérable par son passage à travers le régénérateur et par la combustion du gaz injecté, ainsi qu'une dilatation correspondante, et un abaissement de température lorsque, par le mouvement combiné des pistons, il passe du cylindre chaud au cylindre froid H, en traversant le régénérateur J, et se trouve au contact de l'eau injectée.

Dans ces périodes successives du mouvement de l'air soumis alternativement à de grandes variations de température, les pressions variables exercées sur le bouton de la manivelle produisent, à chaque révolution de la machine, un travail positif, qui constitue en résumé le travail mécanique utilisable qui est transmis à l'arbre moteur E.

Comme l'air n'est pas seulement chauffé et dilaté, mais qu'il s'en brûle à chaque tour une partie, la pompe à air L a précisément pour objet de remplacer par de l'air frais l'air brûlé, dont les éléments sont à chaque instant expulsés du cylindre froid par le canal k, dans les conditions expliquées ci-dessus.

Ces gaz brûlés, ainsi que l'eau injectée dans le cylindre froid, s'emmagasinant sans cesse dans le réservoir de pression N, il est nécessaire que ce réservoir soit lui-même pourvu d'un organe d'échappement également capable de maintenir régulièrement la pression dans ce réservoir, et de permettre aussi de fixer le chiffre de cette pression suivant le régime auquel on veut régler le fonctionnement de la machine.

Ce réservoir est en effet en rapport par un orifice m avec une boîte Q (fig. 140), renfermant un clapet n, qui peut s'ouvrir du dedans au dehors, et qui se trouve maintenu sur son siège par une tige n', soumise à l'action d'un ressort n², dont on règle la tension à l'aide d'un écrou n³.

La disposition de cette soupape lui permet donc de s'ouvrir automatiquement, lorsque la pression intérieure du réservoir dépasse le chiffre qui lui a été assigné par la réglementation du ressort n²; le gaz et l'eau qu'elle laisse ainsi s'échapper s'écoulent par l'orifice de sortie m', accompagné du tuyau m².

De plus, c'est à la même soupape que j'applique le régulateur qui permet de régler la vitesse de rotation de la machine, en favorisant la dépression dans le réservoir N, si cette vitesse s'accroît, et en permettant au contraire à cette pression de s'élever si la vitesse de la machine se ralentit.

A cet effet, l'écrou de réglementation n³ appartient à l'une des branches R

(fig. 141) d'une équerre dont le bras opposé est soutenu par un ressort antagoniste a' ; le même bras de l'équerre est attaqué en sens contraire par le manchon mobile o d'un régulateur à force centrifuge R' , mis en mouvement par l'arbre de couche et par les poulies R^2 , R^3 .

On voit de suite que si, par exemple, la vitesse de rotation s'accroît, le manchon o reculera de gauche à droite, et l'équerre R , repoussée par le ressort supérieur n^2 , comprimerà le ressort inférieur n^3 , d'où le clapet n sera plus fortement appliqué sur son siège.

J'ai maintenant à appeler l'attention sur une sorte de *garniture réfrigérante* dont le cylindre de fonte A est pourvu, afin d'arrêter la communication de la chaleur de la partie chaude B du cylindre à la partie A , qui doit être évidemment maintenue, ainsi que la même partie du piston, à une température relativement basse.

Cette disposition consiste en un canal annulaire A' , réservé au cylindre A , et qui débouche au contact même du piston C , dont l'étanchement est d'ailleurs complété par deux anneaux élastiques du métal p , répartis de chaque côté du canal annulaire.

Ce canal présente, en un point de sa circonférence, une cloison, des deux côtés de laquelle sont ménagés deux orifices : un d'entrée et l'autre de sortie; il est constamment parcouru par un courant d'eau fraîche puisée dans le réservoir de pression N , duquel cette eau s'élève par le tuyau q , et en vertu de la pression même qui règne dans le réservoir. Néanmoins, cette eau s'introduit d'abord au moyen d'un tuyau ascensionnel q , muni d'un robinet de réglage s , dans un récipient S , d'où elle pénètre dans le canal annulaire A' par le conduit q' , pour en ressortir par le conduit q^2 , aboutissant au même récipient. Le tuyau q^2 , appliqué au même appareil, sert à la décharge.

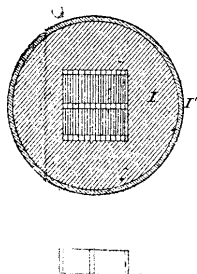


Fig. 144 et 145. — Élément de régénérateur.

Chacun de ces éléments J du régénérateur, (fig. 144 et 145), empilés les uns sur les autres, est supposé ici composé de lames ou d'aiguilles en matière réfractaire, offrant les vides nécessaires pour la circulation du courant gazeux, et rapprochées les unes des autres, de manière à former comme un disque d'une seule pièce (fig. 144).

Il s'effectue dans le cylindre froid H une injection d'eau froide pour absorber la chaleur qui résulterait de la compression du gaz dans un moment déterminé de la course du piston correspondant.

Je puis substituer à cette injection d'eau froide un appareil réfrigérant, qui serait interposé entre le régénérateur et le cylindre froid.

Cet appareil se composerait d'une série de tubes métalliques offrant une grande surface sous un faible volume, enveloppés d'eau ou d'air froid; je puis aussi entourer le cylindre froid d'une circulation d'eau.

Je fabriquerais les enveloppes réfractaires avec toutes les matières réfractaires remplissant les conditions convenables; je ferais les aiguilles en terre réfractaire, en terre de pipe, en magnésie comprimée, en terre à porcelaine ou tout autre matière analogue, ou je les remplacerais par des tamis de fils de platine ou d'amiante.

Dans les grands appareils, je divise le vide du régénérateur en plusieurs compartiments parallèles, afin de diminuer la longueur des aiguilles (fig. 146 et suivantes).

Dans cette machine, la pression intérieure est toujours supérieure à la pression atmosphérique. J'appelle *machines fermées* celles dans lesquelles cette condition est remplie, ce qui exige l'adjonction d'une pompe à air frais ; mais je puis simplifier la machine en supprimant le réservoir de pression et la pompe d'air frais, en mettant directement la boîte d'échappement O en relation avec l'atmosphère, de telle sorte que le cylindre froid H puise directement en dehors, pendant une partie de la révolution de la machine, l'air frais nécessaire pour alimenter la combustion. J'appelle *machines ouvertes* celles construites d'après ce principe.

La régulation des machines ouvertes, aussi bien du reste que celle des machines fermées, peut s'obtenir en faisant agir le régulateur, soit sur la longueur de la tige o' de la soupape d'échappement, soit sur la course du talon O².

Je puis aussi, dans les machines ouvertes, supprimer l'injection d'eau et les moyens de réfrigération.

Enfin, je puis accoupler un ou plusieurs appareils semblables, soit au moyen de balanciers, soit de toute autre manière, en vue de constituer un ensemble à double ou multiple effet, par la connexion de deux ou plusieurs machines à simple effet convenablement groupées.

La figure 146 est la vue extérieure d'un groupe d'appareils fondés sur le même principe que la machine précédente, mais dont l'organisation correspond à un but différent.

J'ai créé cette disposition en vue d'utiliser directement les propriétés dynamiques de l'air chaud à la compression et à l'emmagasinage de l'air lui-même, pour employer ensuite cet air comprimé à la production de force motrice, soit en remplacement de la vapeur dans les machines actuellement existantes, soit par exemple, dans les mines, pour faire mouvoir les outils excavateurs, pour la distribution de la force motrice sur toute l'étendue d'une ville, etc.

L'ensemble de la machine se composerait de deux ou plusieurs appareils, semblables à celui représenté en détail en coupe transversale figure 149.

Cet élément de la machine générale comprend un cylindre de fonte A, surmonté de son prolongement en matière réfractaire B, lequel constitue le cylindre chaud construit comme celui de la machine directe.

Dans ce cylindre, A joue le piston métallique C', garni de sa tête réfractaire C'.

La partie supérieure du cylindre communique encore, par le canal réfractaire a, avec le régénérateur J, construit d'après les mêmes principes.

Ce régénérateur communique directement, par sa partie inférieure et par le canal b, avec le cylindre de fonte A, qui fait fonction de cylindre froid, et qui est fermé en bas par un fond métallique E.

Dans le canal de communication b sont réservées deux lumières c, d, la première en rapport avec une conduite G que j'appelle *conduite des hautes pressions*, et la seconde d avec une conduite que j'appelle *conduite des petites pressions*.

Ces deux lumières sont en rapport avec un tiroir K, qui peut les masquer simultanément ou les découvrir alternativement à propos.

Pour démontrer plus facilement les fonctions de cet appareil, je vais supposer que le canal H des petites pressions communique simplement avec l'atmosphère, tandis que le premier canal G est en rapport avec le réservoir dans lequel doit s'emmagasiner l'air comprimé résultant de ces fonctions même.

Prenant l'appareil tel qu'il est représenté (fig. 147), c'est-à-dire le piston C' en haut de sa course et les deux lumières c, d complètement masquées par le tiroir K ; le piston commence à descendre, sollicité par un moyen mécanique indiqué plus loin, et, lorsqu'il a accompli une certaine portion de sa course, le tiroir K se déplace, de façon à démasquer l'office c.

L'injection du gaz ou du liquide combustible s'effectue comme elle peut s'effectuer

d'ailleurs pendant une portion quelconque de la révolution, suivant que je jugerai convenable, et le piston continue à descendre.

L'air que renferme l'appareil, repoussé par le piston C, s'écoule nécessairement par le canal *b*, traverse le régénérateur, et vient se répandre dans la partie chaude du cylindre; mais comme en même temps il s'élève de température et augmente de volume, et qu'aussi la communication avec le réservoir des hautes pressions est ouverte, son accroissement de volume est utilisé au profit du récipient à air comprimé, c'est-à-dire que, dans cette période de mouvement du piston, il se fait un écoulement sous pression de l'air contenu dans l'appareil par le conduit G.

Lorsque le piston est près d'atteindre la partie inférieure de sa course, le tiroir K revient sur lui-même et les deux orifices *c*, *d* sont de nouveau masqués.

Le Piston C remonte ensuite, et, quelques moments après son départ, le tiroir K, marchant de gauche à droite, démasque l'orifice *d*, que j'ai supposé pour le moment communiquer directement avec l'atmosphère.

Alors l'ascension du piston se continuant a pour effet d'appeler l'air atmosphérique, qui vient remplacer dans l'appareil celui envoyé au réservoir d'air comprimé dans la période précédente du mouvement, en même temps d'ailleurs que la circulation de l'air renfermé dans l'appareil s'établit de la partie chaude à la partie froide, en traversant le régénérateur.

Cet appareil est muni d'une partie des accessoires analogues à ceux appliqués à

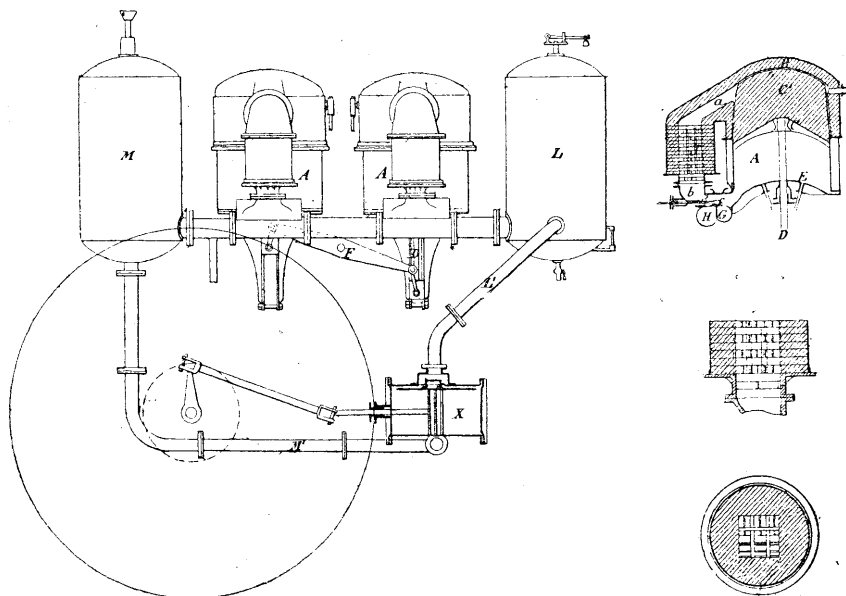


Fig. 146 à 149. — *Hirsch, compresseur d'air aérothermique direct.* Ensemble d'une installation, Coupe d'un cylindre compresseur et détail d'un régénérateur.

A, cylindre moteur à piston réfractaire *cc'*, communiquant par *a* avec le régénérateur *b*, et, au bas, par les orifices *c* et *d* d'un tiroir *k*, avec les conduites *H* et *G* de basse et de haute pression. Quand le piston descend, *c* et *d* étant fermés, l'air passe de la partie froide A à la partie chaude B du cylindre, au travers du régénérateur, et s'y mélange au gaz qui s'enflamme. En même temps, *c* s'ouvre, et une partie du mélange dilaté passe dans la conduite de haute pression G. A' à la montée, *c* est fermé et *d* s'ouvre, laissant l'air de basse pression H pénétrer dans la partie froide du cylindre.

X, machine mue par l'air que refoulent en L les deux compresseurs A A, conjugués par un balancier F, et dont l'échappement va, par M', dans le réservoir M, relié à la conduite de basse pression H.

la machine directe ci-dessus décrite, tels que circulation et injection d'eau froide, de gaz ou de liquide, combustible, etc.

La puissance dynamique de l'air chaud étant utilisée directement pour la compression de l'air dans un réservoir spécial, un groupe d'appareils connexés dans ces conditions doit être sous l'action d'un moteur indépendant mais d'une faible puissance, et suffisant seulement pour vaincre les résistances passives de ces divers organes mobiles.

Ce moteur pourrait être à vapeur et s'alimenter au moyen d'air comprimé par l'appareil lui-même.

En résumé, la figure 146 montre que l'air comprimé par un appareil ainsi disposé vient s'emmaganiser dans un réservoir L, sur lequel se feraient alors des prises pour divers récepteurs plus ou moins éloignés, tels que pour X indiqué ici pour exemple, par le conduit L'.

L'air comprimé, après avoir travaillé dans ce récepteur et s'y être plus ou moins détendu, doit s'échapper nécessairement au retour du piston moteur.

Cet échappement peut se faire dans deux conditions différentes :

1° Il peut s'effectuer directement dans l'atmosphère; mais, dans ce cas, l'appareil compresseur devrait se trouver dans les conditions où j'ai supposé, c'est-à-dire la lumière *d* en rapport direct avec l'atmosphère.

Dans cette condition, je ne pourrais atteindre dans l'intérieur de l'appareil AB, et par conséquent dans le réservoir L, qu'une pression peu élevée, d'où je propose aussi la condition suivante :

2° L'échappement du récepteur X peut se faire par un conduit M' dans un autre réservoir des petites pressions M, lequel constituerait le véritable milieu d'échappement, avec lequel communiquerait le conduit H, qui correspond par la lumière *d* avec l'intérieur de l'appareil de compression.

Dans cette seconde condition, je me trouvais exactement dans la même situation que si l'atmosphère ambiante était à une pression plus élevée; mais comme la pression finale obtenue serait plus élevée, la puissance produite par un appareil donné serait plus considérable que dans le premier cas supposé.

Cette conduite, que j'appelle *conduite de retour*, serait établie dans toute canalisation plus ou moins développée pour le service d'une distribution de force motrice, l'air moteur effectuant ainsi une véritable circulation du générateur au réservoir des hautes pressions, de ce réservoir aux récepteurs, et des récepteurs au réservoir des petites pressions, sur lequel enfin le générateur s'alimenterait.

Un ensemble ainsi composé, c'est-à-dire marchant à une pression indépendante de l'atmosphère ambiante, constitue une machine fermée, et nécessite l'adjonction d'une pompe à air frais.

Je puis, au moyen d'un générateur de pression, comprimer à nouveau de l'air déjà comprimé par une pompe ou par un premier générateur de pression, de manière à obtenir des pressions élevées; j'obtiens ainsi le type de machines appelé *générateurs de pression doubles, triples, etc.*

Une soufflerie de haut-fourneau établie sur les mêmes principes aurait très sensiblement la disposition que je viens d'expliquer pour le générateur de pression, c'est-à-dire que l'ensemble d'une soufflerie comprendrait par exemple deux ou quatre appareils A B semblables, connexés sur un même mécanisme commandé par une machine motrice d'une faible puissance, quatre appareils devant fonctionner collectivement comme deux machines à double effet.

La figure 150, représente la disposition de l'un des appareils du groupe.

Cette disposition est tout à fait comparable à celle décrite ci-dessus.

Le cylindre froid A est surmonté du cylindre chaud B, et le piston métallique C est accompagné de sa masse réfractaire C'.

Ces deux cylindres sont en rapport par le générateur J et par le conduit froid *b*.

La partie supérieure du cylindre chaud est percée d'un orifice *a*, en rapport, par l'intermédiaire d'un tiroir T, à garniture réfractaire, avec un conduit U, garni intérieurement d'une couche réfractaire, et destiné à conduire l'air chaud insufflé par l'appareil dans le haut-fourneau.

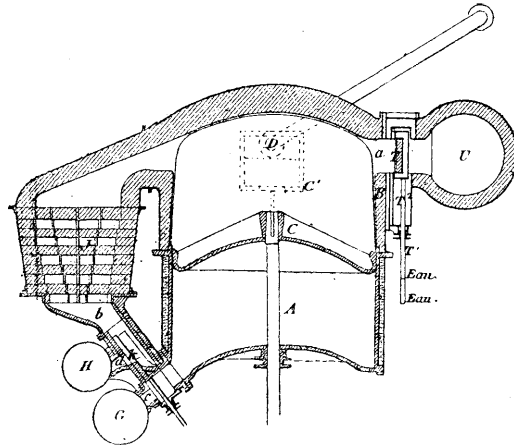


Fig. 150. — Hirsch, soufflerie aérothermique. Coupe verticale, détail d'un cylindre compresseur.

A, cylindre compresseur ou souffleur. D, injection du gaz combustible. U, tuyau de la soufflerie aboutissant au haut-fourneau. G, aspiration d'air frais. H, échappement des gaz brûlés. J, régénérateur. T, tiroir rafraîchi par une circulation d'eau.

Pendant la montée du piston *cc'*, le tiroir *k* ouvre *c G*, ferme *b* et ouvre *d H*, en même temps que le gaz combustible est injecté par D et brûle sous A. U, restant fermé.

A la descente, *k*, ferme *c* et *d* et ouvre *b*, puis T s'ouvre: les gaz chauds passent de A en U par le régénérateur J.

Ce tiroir T est formée d'une boîte creuse en fonte, dans laquelle s'établit, par ses tiges T', une circulation d'eau froide; la boîte T², dans laquelle il joue, est elle-même rafraîchie par un courant d'eau froide.

Le conduit froid *b* est percé de deux orifices *c, d*, en rapport avec un tiroir K percé également d'une lumière; les deux précédents orifices *c, d* correspondent respectivement à deux conduites G, H, la première destinée à l'introduction de l'air frais dans l'appareil, et la seconde à l'échappement de gaz brûlés.

La partie supérieure des cylindres chauds est pourvue d'un orifice armé d'un clapet ou d'un tiroir, et auquel vient s'adapter un conduit amenant le gaz du gueulard du haut fourneau, lequel gaz constitue le combustible à introduire dans l'appareil.

Lorsque je veux employer comme combustible les gaz d'un haut fourneau, je les puise dans la conduite générale au moyen d'une pompe ou d'un ventilateur qui les lance à travers un barboteur ou tout autre appareil purificateur, et sous une faible pression, dans un gazomètre communiquant avec la partie chaude du cylindre par un tuyau muni de tamis métallique, d'un clapet de retenue et d'une valve régulatrice.

Voici maintenant comment fonctionne cet appareil :

Après les premiers moments de la course ascendante du piston C, le tiroir K vient occuper la position représentée fig. 150, c'est-à-dire, que l'orifice *c* se trouvant démasqué, l'air atmosphérique pénètre dans le cylindre froid A, et le tiroir K, par sa forme même, obture complètement le conduit *b*, d'où la communication est interceptée entre le cylindre froid et le cylindre chaud; mais ce tiroir démasque en même temps l'orifice *d*, par lequel peuvent s'échapper, après avoir traversé le générateur, les gaz brûlés refoulés par le piston CC; en même temps s'effectue par l'ouverture D l'injection du gaz combustible.

Pendant cette période du mouvement, le tiroir T ferme la communication avec la conduite d'air chaud U.

Le piston étant parvenu au sommet de sa course et commençant à descendre, le tiroir K se déplace et, masquant complètement les orifices *c*, *d*, rétablit la communication entre les deux parties du cylindre; au bout d'un certain temps, le tiroir T s'abaisse, et met en communication le conduit U avec la partie chaude de l'appareil.

Alors, le piston CC' continuant à descendre, l'air passe du dessous au dessus du piston, s'échauffe, se dilate et est refoulé dans la conduite U, dont l'extrémité se termine par les buses de soufflerie.

Enfin, le piston arrivant à l'extrémité inférieure de sa course, le tiroir T remonte à sa place de fermeture, puis le piston recommence une nouvelle course ascendante, pendant laquelle se reproduisent les fonctions ci-dessus indiquées.

On a vu que l'invention consistait dans la disposition de plusieurs machines pouvant être utilisées comme appareil moteur, machine soufflante et machine de compression, mais dans lesquelles, invariablement, je faisais intervenir, pour chauffer l'air moteur, un combustible liquide ou gazeux; dans ce dernier cas, le combustible gazeux doit être fourni par un appareil dit *gazogène*.

De la façon dont fonctionne cet appareil dépendent entièrement la nature et la qualité des gaz immédiatement utilisables dans les machines aérothermiques.

Ce gazogène a donc la disposition et les propriétés suivantes :

Il a la forme d'une sorte de cheminée en matière réfractaire et dont le vide intérieur est un tronc de cône vertical, la grande base en bas, afin de faciliter la descente des matériaux qui doivent y être introduits.

Le combustible solide y est en effet versé au fur et à mesure de la consommation par l'ouverture supérieure, que l'on ferme ensuite après chaque charge par un obturateur.

L'air est introduit par le bas; il traverse la colonne de combustible dans toute sa hauteur, se dépouille de son oxygène et se charge de gaz combustibles qui s'échappent par une ouverture pratiquée vers le haut du gazogène.

Ce qui constitue surtout la nouveauté de ce système, c'est son mode de chargement.

Avant d'être chargé, le combustible est, au préalable, mélangé d'une certaine quantité de débris de briques réfractaires concassés.

Voici les avantages de ce procédé, que je ferai ressortir en prenant la houille comme exemple :

Si l'on fait traverser par de l'air une colonne de houille allumée et de hauteur convenable, une fois le régime établi, l'oxygène de l'air se transforme d'abord en acide carbonique, puis en oxyde de carbone, qui s'écoule en entraînant avec lui les produits de la distillation de la houille; mais les gaz ainsi produits s'échappent encore très chauds; il emportent, ainsi que les cendres et les escarbilles, une quantité importante de chaleur alors non utilisable.

Par ce procédé, au contraire, les débris réfractaires recueillent dans le haut de l'appareil la chaleur en excédant importée par les gaz; ils s'échauffent donc, et au

fur et à mesure qu'ils descendent leur température s'élève de plus en plus, jusqu'à ce qu'ils dépassent la zone dans laquelle se produisent les réactions chimiques.

Au-dessous de cette zone, le charbon étant complètement brûlé, ils ne sont plus mélangés qu'à des cendres et traversés par le courant d'air ascendant; celui-ci recueille la chaleur qu'ils conservent, et, lorsqu'il arrive au contact du combustible, cet air est donc fortement chauffé et par conséquent dans les meilleures conditions pour que les réactions chimiques se produisent d'une manière complète; ceci permet enfin de mélanger à l'air injecté des quantités notables d'eau ou d'acide carbonique, d'obtenir à la sortie du gazogène des gaz plus riches en éléments combustibles et moins délayés d'azote, et conduit par conséquent à une utilisation plus complète de combustible.

De temps en temps, on retire, par une ouverture pratiquée dans le bas, une partie du mélange devenu froid, de débris réfractaires et de cendres, avant de procéder à un nouveau chargement par le haut.

Ainsi donc, en allure normale, la colonne descendante de combustible mélangé est froide dans le haut, très chaude dans la partie moyenne, où se produisent les réactions, et l'on ne recueille dans le bas que des cendres froides et des débris réfractaires également froids, qui, après triage, peuvent servir de nouveau.

La colonne gazeuse, froide dans le bas, s'échauffe progressivement; l'air arrive très chaud sur le combustible, et les gaz produits se refroidissent ensuite pour sortir froids de l'appareil.

Les avantages de ce procédé se résument comme suit :

- 1° Meilleure utilisation de la chaleur;
- 2° Combustion complète du charbon, dont les cendres ne retiennent aucune partie combustible;
- 3° Réactions chimiques opérées dans les meilleures conditions, gaz plus riche et grande perméabilité de la masse de combustible.

En outre de cette méthode de chargement, consistant à mélanger le combustible solide naturel avec des débris réfractaires, on peut appliquer les moyens de construction, de chargement de soufflage, de décrassages connus, et aussi entourer le gazogène d'une enveloppe métallique pour y produire le gaz sous pression, de manière à réduire ou supprimer le jeu de la pompe à gaz.

Enfin, on peut introduire dans le gazogène, avec le courant d'air, soit de l'eau en vapeur ou liquide, soit de l'air en partie brûlé.

Moteur domestique Ericson.

Nous donnons d'après son brevet même¹ la description du dernier moteur à air chaud d'Ericson, spécialement destiné aux petites forces.

Cette invention est relative au genre de moteurs à airs dans lequel fonctionne un piston, dit *piston distributeur* ou *piston d'échange*, dans un cylindre, à l'une des extrémités duquel se trouve le piston de travail ou piston moteur, tandis qu'à l'autre est le foyer.

Le même air ou gaz est continuellement transporté d'un bout du cylindre à l'autre et réciproquement, étant chauffé et dilaté pendant son trajet dans un sens, et refroidi et contracté dans l'autre, le piston distributeur agissant aussi comme régénérateur.

¹ Brevet français 138567, 3 septembre 1880.

Une partie de mon invention a pour objet un nouveau mécanisme pour transmettre le mouvement du piston-moteur à une manivelle et au piston distributeur, de telle sorte, qu'avec une petite course du piston-moteur, je puisse combiner une longue course du piston distributeur, ainsi qu'un règlement des mouvements des deux pistons par rapport l'un à l'autre de manière que l'on réalise l'action la plus efficace possible.

Une autre partie de mon invention comporte une nouvelle disposition de pompe et de ses attaches à une machine à air, qui me permet d'obtenir une pompe d'un effet très grand et très efficace avec un moteur ayant une petite course de piston et une course comparativement longue du piston de la pompe.

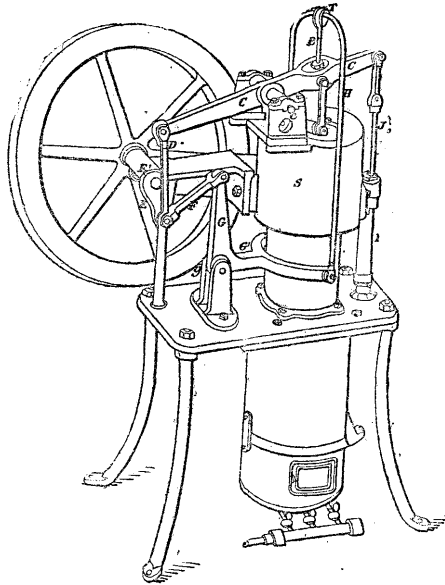


Fig. 151. — Moteur domestique Ericson de 1880. Elévation.

J'ai représenté à titre d'exemple une disposition de machine établie d'après mon invention et mon perfectionnement.

S, cylindre ouvert en haut, et dans lequel fonctionnent deux pistons A, B ; soit A le piston moteur et B le piston distributeur.

Le bas du cylindre est fermé et doit être chauffé au gaz, à l'huile, au charbon ou par tout autre combustible, dans un foyer spécialement construit suivant les besoins.

Le piston-moteur A, qui est dans la partie supérieure du cylindre, est rendu étanche par une garniture convenable.

Le piston distributeur B, qui est très long, est d'un diamètre plus petit que celui du cylindre, de telle sorte qu'il laisse un espace annulaire pour le passage libre de l'air entre la périphérie du piston et les parois intérieures du cylindre.

Ledit piston est indiqué creux avec sa partie supérieure la plus éloignée de la chaleur remplie en partie de coton ou autre matière filamenteuse *a* ; au-dessous de cette couche est disposée une couche *b* de charbon de bois en poudre, ou de toute autre matière calorifuge empêchant la transmission de la chaleur, dont le but est

de protéger le coton ou les autres substances employées pour les empêcher de s'enflammer ou de se consumer sous l'effet de la chaleur qui est déterminée au bas du piston.

Le piston-moteur A est relié par un fourreau ou tige creuse A' et deux tiges A² a' un balancier C au-dessus du cylindre, l'attache étant à une certaine distance du centre fixe d'oscillation c du balancier.

Le balancier c est relié ou réuni par une bielle d, placée à une distance beaucoup plus grande de l'autre côté du centre c, avec la manivelle E placée sur l'arbre principal E' qui est fixé à côté du cylindre.

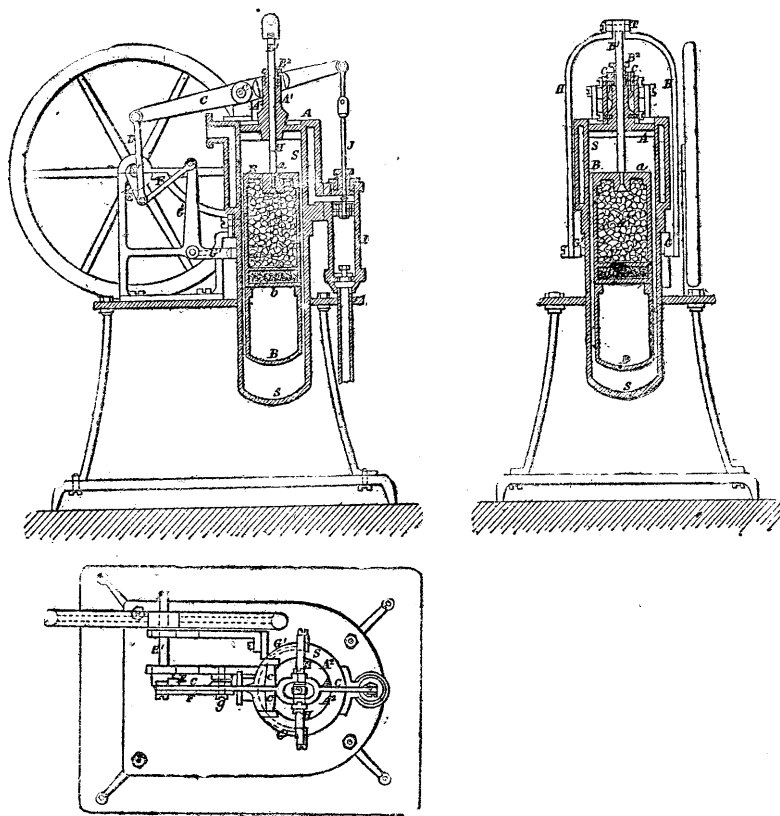


Fig. 152, 153 et 154. — Moteur domestique Ericson de 1880, coupes verticales et plan.

A, piston moteur étanche à faible course, attaquant par son fourreau A' le balancier c c, qui commande à droite la pompe 1^o et à gauche 1^o, par D, la manivelle motrice E. 2^o, par (F G G' T B'), le piston déplaceur B, mobile librement dans le cylindre S, chauffé au bas par une rampe de gaz.

La manivelle E est assemblée également par une tige F avec un bras G du levier coudé G G', qui a un centre fixe d'oscillation g, et l'autre bras en fourche G est accouplé par les tiges H sur les deux côtés du cylindre avec la tête T.

La tige B' du piston distributeur B passe à travers le fourreau ou douille centrale du piston-moteur A, et ce passage est rendu étanche au moyen d'un presse-étoupe B² dans la partie supérieure dudit fourreau.

Le centre d'oscillation du levier coudé G est placé sur le même côté du cylindre

que l'arbre de manivelle, mais plus près du cylindre et plus éloigné de la partie supérieure où fonctionne le piston-moteur.

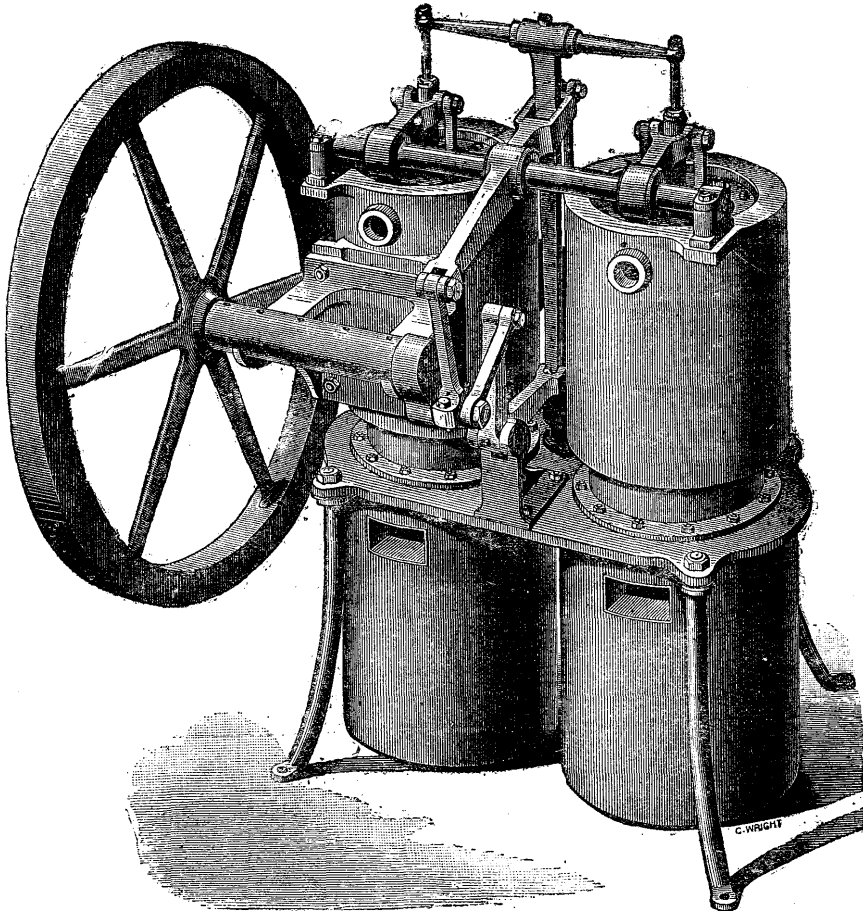


Fig. 155. — *Moteur Ericson*, domestique double, chauffé au charbon.

Au moyen de ce système d'accouplements, le balancier, recevant son mouvement du piston-moteur, transmet son mouvement par la bielle *n* à la manivelle *E*, qui le transmet à son tour par la tige *F* au levier coudé *GG'* et aux tiges *H* du piston distributeur.

Le mouvement des pistons ont lieu de la manière suivante :

Pendant le mouvement ascensionnel du piston distributeur, l'air froid de la partie supérieure du cylindre est chassé par ledit piston à travers l'espace annulaire compris entre celui-ci et le cylindre à la partie inférieure de celui-ci, qui est chauffée comme il a été dit plus haut ; l'air ainsi transporté à la partie inférieure du cylindre se dilate dans le bas de ce cylindre, et sa dilatation fait remonter le piston-moteur.

Le mouvement du piston distributeur est terminé pour environ les deux tiers de sa course avant que le piston-moteur commence le mouvement d'élévation ou de montée qui produit son travail, et, lorsque le piston-moteur a presque complété son mouvement d'ascension ou sa course de travail, le piston distributeur commence à descendre et force l'air chaud à remonter du bas du cylindre chaud à la partie froide en haut, terminant sa course dans le temps que le piston-moteur aura fait environ un tiers de sa course de retour.

On comprend alors, par les mouvements de pistons que je viens de décrire, que le piston-moteur reçoit son action et sa puissance de l'air qui est renfermé dans le cylindre et que l'on chauffe et refroidit alternativement par l'action du piston distributeur, qui transporte l'air de la partie chaude à la partie froide et ensuite de la partie froide à la partie chaude du cylindre.

Il est évident que la grande surface extérieure du piston distributeur et des parois intérieures du cylindre changeront rapidement la température de ce dernier, le piston distributeur remplissant ainsi les fonctions d'un régénérateur.

Par la disposition de l'arbre de manivelle, les centres d'oscillation du balancier et du levier coudé et les accouplements, je combine une longue manivelle avec une petite course de piston moteur et une longue course du piston distributeur avec des bielles très longues pour actionner ledit piston, ce qui donne une si petite déviation de la ligne de mouvement qu'il n'est pas nécessaire d'employer des guides.

I, pompe fixée de l'autre côté du cylindre S; le piston J de cette pompe est accouplé au balancier C, sur le même côté du centre d'oscillation que les pistons, le balancier étant prolongé de manière à dépasser le cylindre S, afin de compléter cet accouplement et d'obtenir ainsi le grand avantage d'une longue course pour la pompe et d'une petite course pour le piston moteur du cylindre.

Cette pompe est montrée au dessin refoulant l'eau à travers une enveloppe K, qui entoure la partie supérieure du cylindre de la machine, pour rafraîchir cette partie dudit cylindre et obtenir ainsi un refroidissement plus rapide de l'air dans son passage de bas en haut; cette enveloppe n'est pas cependant indispensable pour le refroidissement de l'air dans le cylindre; celui-ci étant très long présente une grande surface rayonnante, qui peut être encore augmentée en mettant des ondulations ou projections sur sa partie supérieure.

Ces machines, très répandues aux Etats-Unis, se chauffent au gaz, au pétrole ou au charbon. Elles se construisent en cinq types principaux conformément aux données du tableau ci-dessous.

Diamètre du cylindre	Encombrement.	Poids	Dépense du gaz par heure en mètre cube.	Dépense par heure Anthracite	Eau montée par heure à 15 mètres	Chevaux effectifs en eau montée.
127 ^{mm}	660 × 425 × 1 ^m ,20 de haut.	115 kilogs.	0.42		0.680	0.040
150	990 × 509 × 1 ^m ,30 —	190	0.50	1 ^k 15	0.900	0.050
200	1 ^m ,20 × 649 × 1 ^m ,60 —	285	0.70	1.70	1.600	0.090
300	1 ^m ,37 × 685 × 1 ^m ,80 —	640		2.70	3 600	0.200
300*	1 ^m ,07 × 1.32 × 1 ^m ,80 —	1 tonne.		5.45	7.200	0.400

* Machine double du type représenté par la figure 155.

L'AIR COMPRIMÉ

Ainsi que nous l'avons fait remarquer à l'origine de ce travail nous ne traitons pas dans sa généralité la question si importante de la transmission et de la distribution de la force par l'air comprimé, qui a été examinée et discutée dans les séances du Congrès de Mécanique par des spécialistes et des praticiens mieux à même que personne de connaître la vérité.

L'air comprimé n'a guère été employé jusqu'ici comme moyen de transmission du travail que dans des circonstances où il s'imposait presque pour des raisons toutes autres que son économie, par exemple, pour les travaux de mines, où il est des plus précieux en raison du secours qu'il apporte à la ventilation et de son innocuité parfaite en ce qui concerne les explosions de grisou et les incendies.

Les projets de distribution de force par l'air comprimé dans les villes sont il est vrai assez nombreux — Birmingham 15 000 chevaux (en voie d'exécution) ⁽¹⁾, Edimbourg, 17 000 chevaux, Dresde 7 500 — mais il n'y a, jusqu'à présent, que la distribution de Paris qui ait fonctionné sur une étendue suffisante et pendant assez longtemps pour que l'on puisse en apprécier à peu près la valeur industrielle ⁽²⁾.

Le rendement de la transmission de Paris a été déterminé tout récemment, pour un cas très favorable, par M. Kennedy. Ainsi qu'on le verra par l'analyse, que nous donnons plus bas, du mémoire de ce savant ingénieur, ce rendement total ne peut guère dépasser, dans les circonstances actuellement les plus favorables, environ 30 % ; c'est-à-dire, qu'il faut développer aux machines motrices de la station centrale environ 3 chevaux pour en recueillir un sur l'arbre du moteur à air comprimé. Le moteur essayé par M. Kennedy développait environ 10 chevaux : il va sans dire que le rendement serait notablement inférieur avec les moteurs de 1 à 4 chevaux, bien plus fréquents dans la petite industrie. Si l'on admet pour les machines motrices de la station centrale la dépense pratiquement très faible d'un kilogramme de charbon par cheval-heure indiqué, on voit que l'on doit compter dans les circonstances les plus favorables, sur une dépense au moins triple pour les moteurs à air comprimé.

1. Engineering, 1^{er} octobre 1886.

2. Engineering, 21 juin 1886, 15 février 1889. — Revue industrielle, 19 janvier 1889. — Lumière électrique, 1^{er} décembre 1888. — Oestereichischen Ing., 15 décembre 1888. — Mémoire de Radinger.

Or les moteurs à gaz, même de petite force, dépendent couramment moins d'un mètre cube de gaz par cheval-heure, c'est-à-dire à peu près l'équivalent du charbon consommé par les gros moteurs à air comprimé. On voit que, sans même tenir compte des sous-produits du gaz ni de la meilleure utilisation — jour et nuit — de sa canalisation, d'ailleurs beaucoup plus réduite à puissance égale (1) le gaz l'emporte déjà comme économie de combustible sur l'air comprimé. Si l'on ajoute que le gaz présente en outre l'avantage de distribuer, en même temps que la force, la chaleur et la lumière, on comprend que l'air comprimé ne puisse guère lutter avec lui, comme c'est le cas à Paris, qu'en raison de ce que le gaz y est livré, pour des raisons purement municipales, à des prix absolument fantaisistes, trois ou quatre fois plus élevés qu'en Allemagne ou en Angleterre.

Si l'on compare la distribution par l'air comprimé à une distribution non pas de gaz d'éclairage, mais de gaz spécial pour force motrice, de gaz à l'eau par exemple, qui donne régulièrement un cheval effectif au moteur par kilogramme de houille brûlé au gazogène, la comparaison devient, en apparence, tout à fait insoutenable, au point de vue unique de l'économie de combustible.

Ces quelques considérations une fois établies, afin de présenter sous ce que nous pensons être son véritable jour la question de la distribution de l'air comprimé utilisé comme force motrice seulement, nous allons examiner quelques-unes des principales données d'une pareille distribution.

Cet examen sera d'ailleurs, pour les raisons exposées plus haut, très sommaire : je me bornerai à rappeler quelques propositions générales, faciles à établir par la théorie, et d'ailleurs consacrées par la pratique.

Pression de régime. — La pression la plus convenable pour une distribution d'air comprimé dépend de deux facteurs : le rendement, qui diminue assez vite quand la pression augmente, et la dépense d'établissement des canalisations et des compresseurs, qui diminue quand la pression augmente. La balance entre ces deux influences contraires et inégales ne peut pas s'établir *a priori* par des formules générales suffisamment exactes, mais l'expérience paraît avoir démontré qu'il n'y a que très rarement intérêt à dépasser une pression de 3 à 4 atmosphères effectives. Des pressions plus élevées n'auraient d'autre avantage que de diminuer un peu les frottements toujours relativement faibles des longues canalisations, mais en abaissant très vite, bien au-delà de cet avantage, le rendement des moteurs.

Détente. — Quant à la détente de l'air dans le cylindre des moteurs, on sait qu'il n'y a pas, du moins sans un réchauffement préalable de l'air comprimé, avantage à la rendre complète, c'est-à-dire à la prolonger jusqu'à la

1. Un moteur à air comprimé dépense au mois 10 mètres cubes d'air à 5 atmosphères par cheval-heure *indiqué*.

pression atmosphérique : on ne perd en effet, dans la plus part des cas, que le dixième environ du travail utile disponible en laissant échapper l'air à une pression d'une demi-atmosphère effective — pression qui suffit souvent pour chasser toute la glace qui se forme dans le tuyau d'échappement.

Réchauffeurs. — On sait, en effet, que l'un des principaux obstacles à la bonne utilisation de la détente dans les moteurs à air comprimé est le froid intense qui en résulte, et qui ne tarde pas à précipiter sur les organes du moteur de la neige et de la glace, qui en rendent parfois le fonctionnement

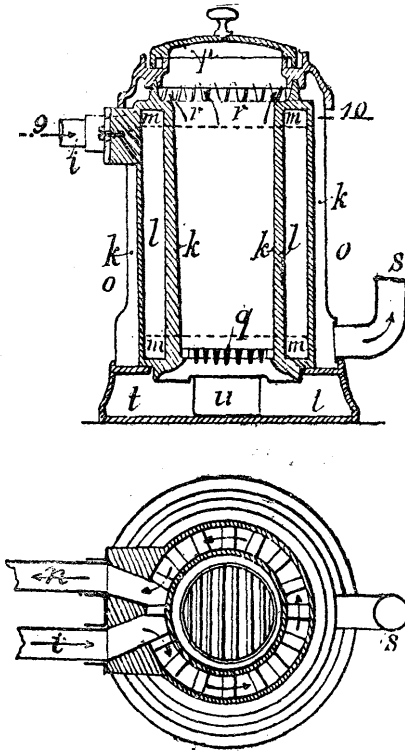


Fig. 156 et 157. — Popp (1887). — Réchauffeur d'air comprimé. Coupe verticale diamétrale et coupe horizontale 9-10. *i*, entrée de l'air comprimé passant de *m* en *m* le long des ailettes *l* et sortant en *n*, vers le moteur, après les avoir successivement parcourues. *k*, poêle en fonte pourvu d'ailettes *l*, dont la grille *q* reçoit l'eau nécessaire à la combustion par l'ouverture *u* du socle *t*, et dont les gaz brûlés s'échappent par la cheminée *s*, en descendant en *r k*, entre le poêle et son enveloppe *o*. *p*, calotte de chargement.

impossible. Il faut, pour parer à cet inconvénient, avoir recours, à deux moyens, employés isolément ou simultanément : saturer l'air de vapeur d'eau et l'échauffer avant son arrivée au moteur. La vapeur d'eau augmente un peu le travail disponible de l'air comprimé, et diminue, toutes choses égales, très notablement son refroidissement par la détente, en raison de sa chaleur de liqué-

faction très élevée, de sorte qu'il suffirait d'échauffer à 90° environ l'air saturé de vapeur d'eau à 4 atmosphères, ou d'y injecter environ 200 grammes d'eau à 50° par kilogramme d'air, pour pouvoir le détendre jusqu'à un demi-atmosphère, sans que la température descende au-dessous de zéro. Cette température est souvent dépassée dans les applications; c'est ainsi que, pour le moteur essayé par M. Kennedy, on portait l'air à 140° environ, avec une augmentation de rendement sensiblement égale à 8 %, tant par l'accroissement du travail indiqué de l'air, qui augmentait de 15 %, que par celui du rendement organique du moteur, qui augmentait de 14 %. L'injection d'eau chaude pulvérisée paraît préférable comme aussi économique et plus favorable à la conservation du moteur.

L'appareil généralement employé à Paris pour le réchauffage de l'air comprimé est représenté dans ses parties essentielles par les figures 156 et 157. C'est une sorte de poêle à ailettes en fonte *l*. L'air comprimé passe de *i* en *n*, vers le moteur, en parcourant ces ailettes en zig-zag, alternativement de bas en haut puis de haut en bas. Les gaz de la combustion du coke sur la grille *q* s'échappent à l'extérieur des ailettes par les ouvertures *r*, l'enveloppe *o* et la cheminée *s*. Le réchauffeur de la machine de 10 chevaux essayée par M. Kennedy, avait environ 1 mètre de diamètre, 0^m,80 de haut, et brûlait à peu près 0 kil., 20 de coke par cheval-heure indiqué au moteur.

Les figures 158 et 159 représentent un appareil proposé par *M. Popp* pour saturer l'air de vapeur d'eau chaude et l'échauffer en même temps par un poêle analogue à celui que nous venons de décrire. A cet effet, on emploie un réservoir d'eau *d* chargé par une prise d'air comprimé *f*, en avant de la *reducing valve* *b* du moteur. Cette pression refoule l'eau dans un serpentín logé dans l'enveloppe extérieure du poêle, d'où elle passe, au travers de l'indicateur en verre *i*, au tuyau *k*, qui l'injecte au milieu de l'air allant de la *reducing valve* au poêle. Il en résulte qu'il sort de ce poêle, vers le moteur, par le tuyau *3*, de l'air chaud saturé de vapeur d'eau. On peut, comme l'indique la figure, proportionner l'injection d'eau au travail du moteur en commandant le robinet *r* par une tige *g*, disposée de manière qu'il s'ouvre proportionnellement à la levée de la soupape d'étranglement *b*,

On s'est aussi beaucoup occupé à Birmingham de l'échauffement préalable de l'air comprimé : les figures 160 et 161 représentent quelques dispositifs, d'ailleurs des plus élémentaires, proposés à cet effet par MM. *Sturgeon* et *Hanssen*. L'air comprimé s'y réchauffe dans son passage au travers de faisceaux tubulaires chauffés au gaz ou au charbon, ou enfin par une circulation d'eau chaude qui traverse ensuite l'enveloppe du cylindre du moteur. Ces messieurs ont aussi proposé de chauffer le cylindre par des becs de gaz *a* (fig. 162) dont les produits brûlés s'évacueraient en *b*. Ce mode de chauffage a donné de bons résultats avec

les machines à vapeur ⁽¹⁾ et mériterait d'être expérimenté. Le dispositif représenté par les figures 163 et 164 a pour objet d'empêcher que l'air comprimé ne soit porté à une température trop élevée. Dès que cette température dépasse le degré voulu, la dilatation du mercure *b* soulève la membrane *c*, et ouvre la soupape *f*, qui injecte, par *g h*, de l'eau froide dans la conduite d'air comprimé *a*.

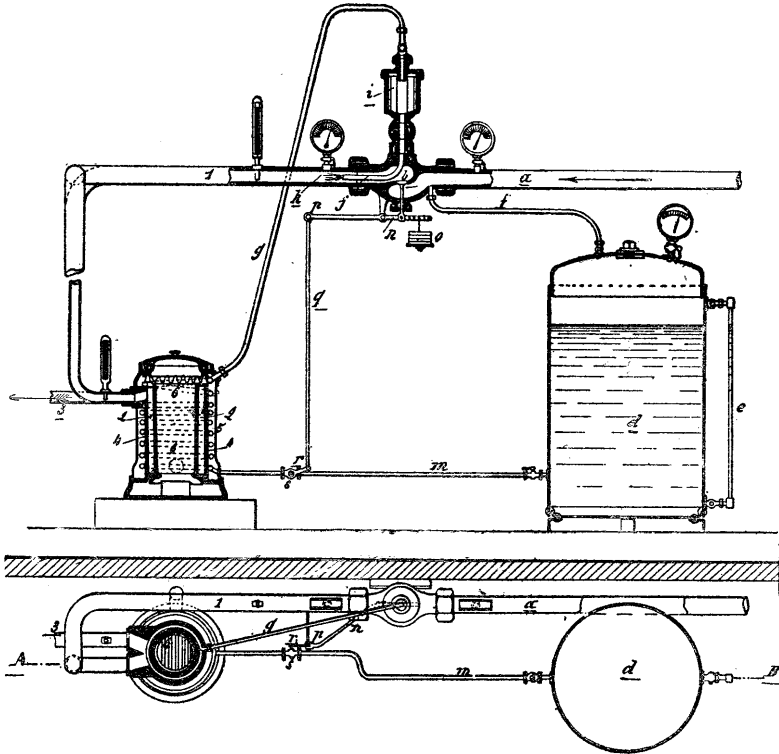


Fig 158 et 159. — Popp (1888). — Réchauffeur saturateur d'air comprimé. A, conduite d'air comprimé pourvue d'une valve d'étranglement *b*, chargée par un poids *o*. 1, tuyau recevant l'air comprimé réduit de pression par la valve *b*, et l'amenant au moteur par le tuyau 3, après qu'il s'est saturé d'eau chaude en *k*, puis échauffe en circulant en 2 2 autour du poêle 6.

d, réservoir d'eau recevant en *f* la pression de l'air comprimé *a*, refoulé par *m* dans le serpentin 5, enroulé autour du poêle, puis amené par le tuyau *g*, le voyant *i*, et le pulvérisateur *j k* au tuyau d'air du moteur 1.

r s, robinet relié par *q p n* à la soupape régulatrice ou d'étranglement *b*, de manière qu'il s'ouvre proportionnellement à sa levée, et règle l'injection d'eau d'après le travail du moteur.

Régulateurs de pression. — On peut employer, pour régler la pression de l'air comprimé au moteur, un grand nombre de dispositifs bien connus dans l'industrie. La figure 165 représente l'une des dispositions adoptées par M. Popp. Son fonctionnement s'explique de lui-même. La chute de pression de *m* en *n*

1. Donkin. — Congrès de mécanique, vol. 2, p. 171.

varie en raison directe du poids q , et en raison inverse de la surface du piston p , de sorte qu'il suffit de faire varier le poids q , ou sa distance à l'articulation K , pour déterminer de m en n la chute de pression que l'on veut.

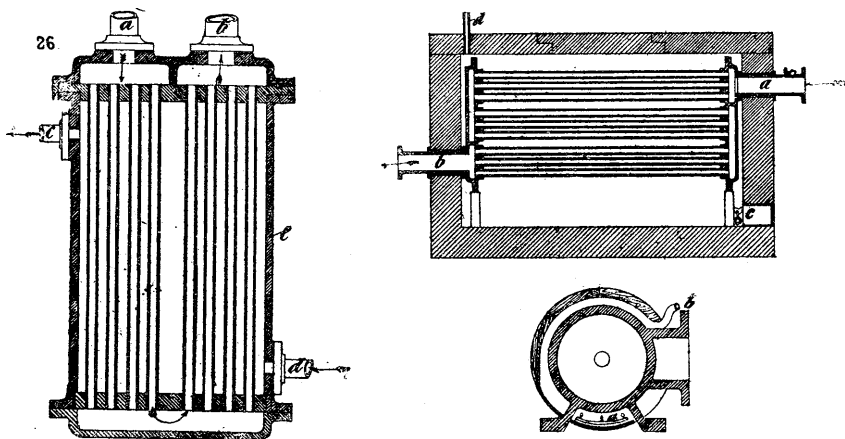


Fig. 160, 161 et 162. — Distribution de Birmingham. Réchauffeurs *Sturgeon et Hanssen* (1882). Chauffage du cylindre.

a , entrée (fig. 160). b , sortie de la vapeur destinée à chauffer l'air comprimé qui entre par d et sort par c .

Fig. 161. — a , entrée. b , sortie de l'air comprimé traversant un faisceau de tubes chauffé en c par une rampe de gaz dont les produits de combustion s'échappent par d .

Fig. 162. — a , rampe de gaz chauffant un cylindre de moteur à air comprimé, et dont les produits de combustion s'échappent par b .

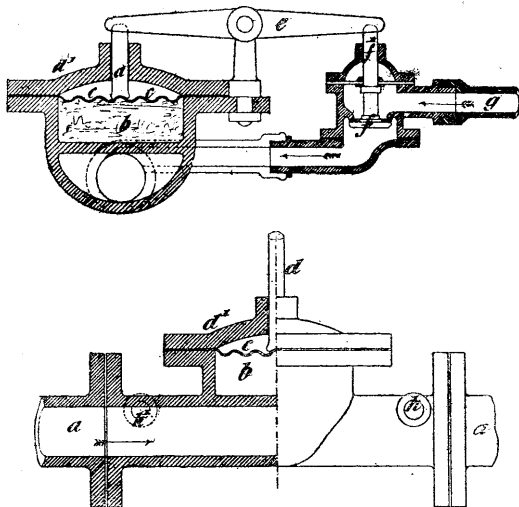


Fig. 163 et 164. — Distribution de Birmingham. Régulateur de température de l'air comprimé. g , conduite d'air comprimé chaud. c , membrane en acier qui, lorsque le mercure b se dilate par la chaleur de l'air a , ouvre, par d et e , la soupape f , qui détermine une injection d'eau froide en a par g et h .

L'axe H peut évidemment être commandé par un régulateur à force centrifuge, de manière à maintenir la vitesse du moteur sensiblement invariable.

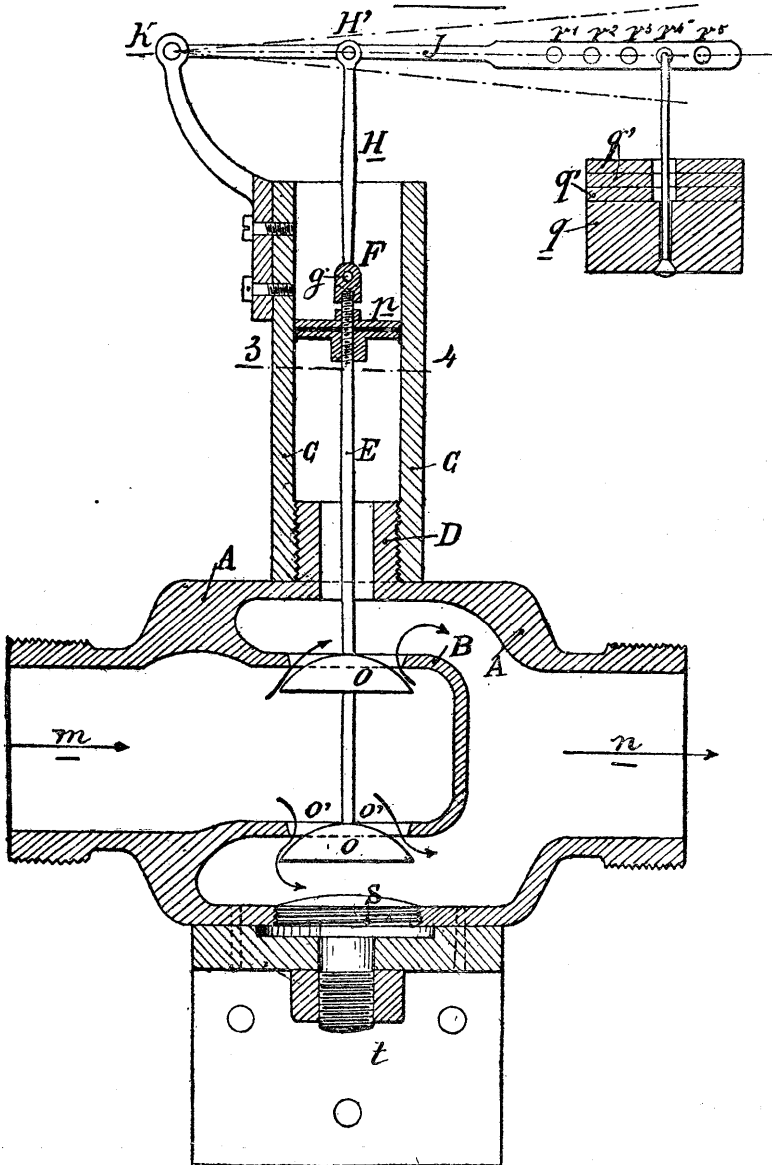


Fig. 165. --- Popp (1887). — Régulateur de pression $o o$, soupape équilibrée laissant passer par $o' o'$ B l'air comprimé de m en n , avec une chute de pression d'autant plus grande qu'elle est plus soulevée par la pression de cet air sous le piston p . $Q Q'$, poids permettant de régler la soupape $o o$ en variant leur nombre et la position de leur attache $r r'$ au levier $J K$, qui charge ainsi plus ou moins, par la bielle $H' H F$, le piston $g p$ et la tige E de la soupape o . Le corps A de l'appareil est fixé par un boulon $s t$, et il suffit de dévisser le filetage $D c$ pour arriver à la soupape.

Joints de la canalisation. — Parmi les détails de la canalisation proprement dite, nous citerons comme très importante les joints d'assemblage des tuyaux et les purgeurs, destinés à recueillir puis à évacuer automatiquement l'eau déposée par l'air comprimé. Les joints doivent être à la fois parfaitement étanches et suffisamment élastiques : ceux de la canalisation de Paris sont constitués par le serrage d'un anneau en fonte *b* (fig. 166) entre deux bagues

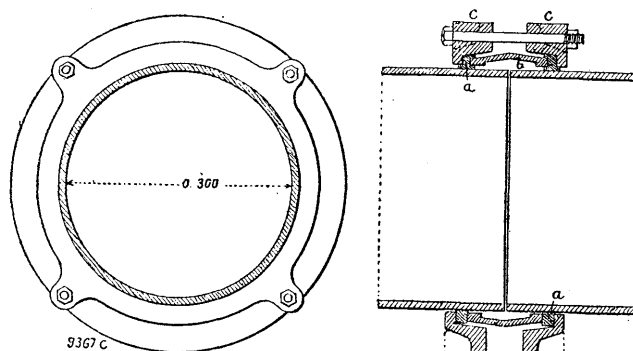


Fig. 166. — Canalisation d'air comprimé de Paris, joint aux caoutchoucs *aa*, serres par les brides *cc* sur la bague en fonte *b*.

épaisses en caoutchouc *aa*, pressées par deux couronnes en fonte *cc*, à quatre boulons. A Birmingham, les tuyaux sont en tôle et atteignent jusqu'à 0^m,60 de diamètre. Les raccordements principaux s'opèrent (fig. 167) au moyen de manchons en fonte pourvus de joints de dilatation.

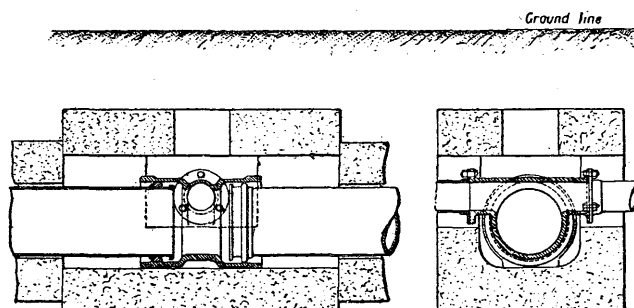


Fig. 167. — Canalisation d'air comprimé de Birmingham joint de dilatation à Stuffing boxes.

Purgeurs. — Le type de purgeur adopté pour la canalisation de Paris est représenté par la figure 168 (¹). L'air passe de G en H au travers du diaphragme en feutre M ; l'eau tombe en A débarrassée de ses impuretés solides par

1. Brevet anglais 1578 de 1887.

la tôle perforée J, et soulève, quand elle atteint un certain niveau, le flotteur B, qui ouvre la soupape N, par où l'eau s'échappe.

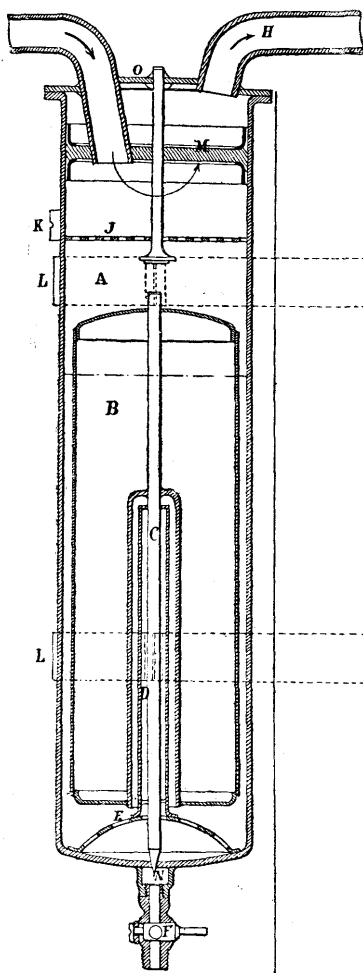


Fig. 168. — *Purgeur Popp*. — G, arrivée de l'air humide, H, sortie de l'air desséché par son passage au travers du feutre M. J, tôle métallique, que l'on peut visiter par le regard k. B, flotteur qui, lorsque l'eau remplit suffisamment le récipient A, soulève sa tige c et sa soupape N, laquelle laisse l'eau se purger par E F. D, guide de la tige du flotteur. L L, attaches du purgeur.

Autoclaves. — Il reste encore une précaution importante à prendre : il ne faut pas, qu'en cas de rupture d'une conduite, l'air comprimé puisse s'échapper indéfiniment, jusqu'à ce qu'on soit venu aveugler cette fuite par un moyen quelconque non automatique.

La canalisation de Birmingham doit être pourvue à cet effet de valves d'arrêt automatiques, dont le principe est facile à saisir par l'examen des figures 169 et 170. Si la fuite se déclare en O, par exemple, la soupape sphérique légère A, sus-

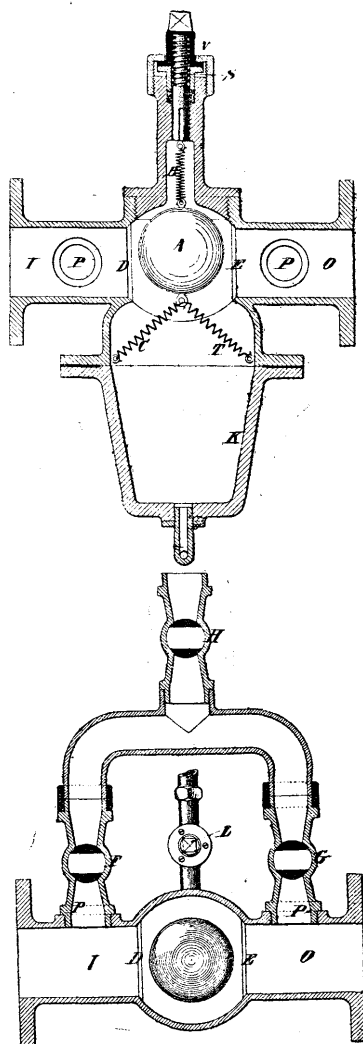


Fig. 169 et 170. — Autoclave Sturgeon et Hanssen (1883). — A, sphère légère suspendue par trois ressorts BCT, dont l'un, B, réglable et accessible par NS, fermant automatiquement celui des tuyaux, I ou O dans lequel se déclare une fuite importante d'air comprimé.

P F C H, robinetterie permettant de faire fermer par A, en vue d'une réparation, l'une ou l'autre des conduites O ou I, en y déterminant une fuite par H, qui s'ouvre dans l'atmosphère, et de rétablir l'équilibre des pressions de chaque côté de A après la réparation.

pendue par trois ressorts BCT, sera aussitôt collée sur son siège E par la poussée de l'air précipité de I vers O, et fermera le tuyau brisé. La réparation faite en

O, il suffira d'ouvrir les robinets F et C pour rétablir l'équilibre des pressions des deux côtés de la soupape qui reprend, d'elle-même sa position d'équilibre.

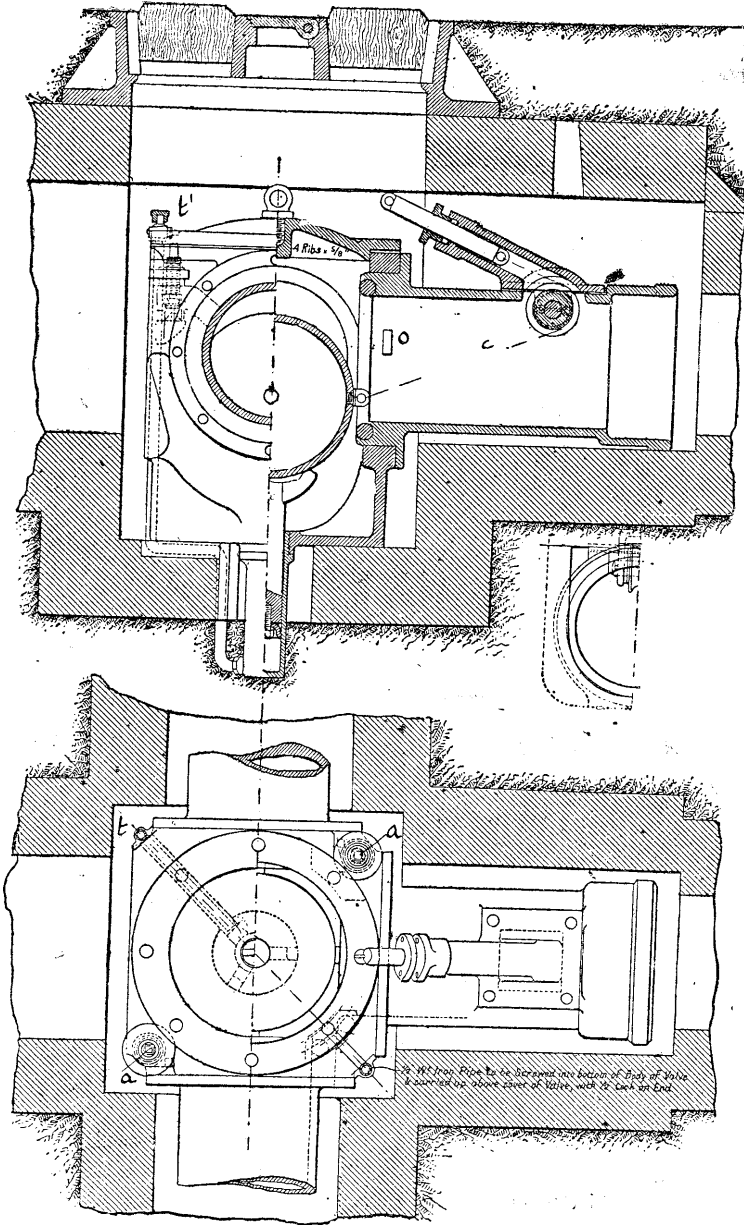


Fig. 171 et 172. — Canalisation d'air comprimé de Birmingham. Autoclave à trois branchements. *c*, chaînes permettant de fermer de l'extérieur l'un des trois branchements. *oa*, canaux permettant d'évacuer le branchement après sa fermeture. *tt'*, tuyau de purge.

Si l'on veut raccommo-der un tuyau qui n'a pas occasionné de fuites suffisantes pour faire fonctionner automatiquement la soupape, le tuyau I, par exemple, il suffit de détendre les ressorts BCT, en abaissant la vis I, et d'ouvrir les robinets F et H. La fuite d'air ainsi déterminée suffira pour précipiter la soupape sur son siège D, où elle restera maintenue par la pression en O, après que l'on aura fermé les robinets F et H.

Dans la disposition représentée par les figures 171 et 172, les ressorts sont supprimés : la soupape repose sur trois nervures de sa boîte, et peut, en cas de réparations, être appliquée à la main sur l'un de ses sièges par des chaînes *c* manœuvrées de l'extérieur, puis consolidée sur un siège par l'ouverture *o* de celui des robinets *a* communiquant avec le tuyau à réparer. La boîte de la soupape porte un purgeur dont l'air comprimé chasse l'eau par le piston *p* et le tuyau *t* quand on ouvre le robinet *t'*.

Les figures 173 et 174, qui s'expliquent par leur légende, représentent l'autoclave purgeur récemment proposé pour la distribution de Dresde, par MM. *Proell* et *Kummer*.

Il ne nous reste plus, avant d'arriver au moteur à air comprimé, à examiner que deux appareils, le compresseur et le compteur, qui mesure la consommation du moteur.

Compresseurs.— Le compresseur est l'un des organes les plus importants du système, mais son étude ne saurait entrer dans le cadre de cette notice, pas plus que l'étude générale de la distribution par l'air comprimé, et pour les mêmes raisons d'ensemble. L'établissement des compresseurs pour une distribution d'air comprimé ne présente en effet rien de bien particulier, sinon qu'ils peuvent plus facilement profiter des perfectionnements apportés depuis longtemps à leurs constructions, car leur puissance est, en général, plus considérable que celle des compresseurs de mines, et leur établissement toujours plus facile.

Nous nous bornerons à décrire sommairement les compresseurs adoptés à la station de Saint-Fargeau pour la distribution de Paris, et qui sont représentés dans leurs parties principales par les figures 176 à 182.

Ces compresseurs, directement attelés aux tiges des pistons des machines motrices, ont été livrés avec la garantie d'une dépense de charbon de 80 grammes par kilogramme d'air comprimé à 6 atmosphères, avec faculté d'augmenter la pression jusqu'à 8 atmosphères. Ils ont 1^m,950 de course sur 660 de diamètre, et marchent avec une vitesse des pistons de 2 mètres par seconde. Les soupapes de refoulement ont 180 millimètres de diamètre. Les soupapes d'aspiration *cc*, conjuguées par une tige à ressort de rappel, sont placées au-dessous des soupapes de refoulement dans une position très accessible, et guidées par des osselets. Leurs cuirs sont continuellement humectés par une petite injection d'eau D. Le

cylindre du compresseur est rafraîchi par une pulvérisation d'eau sous haute

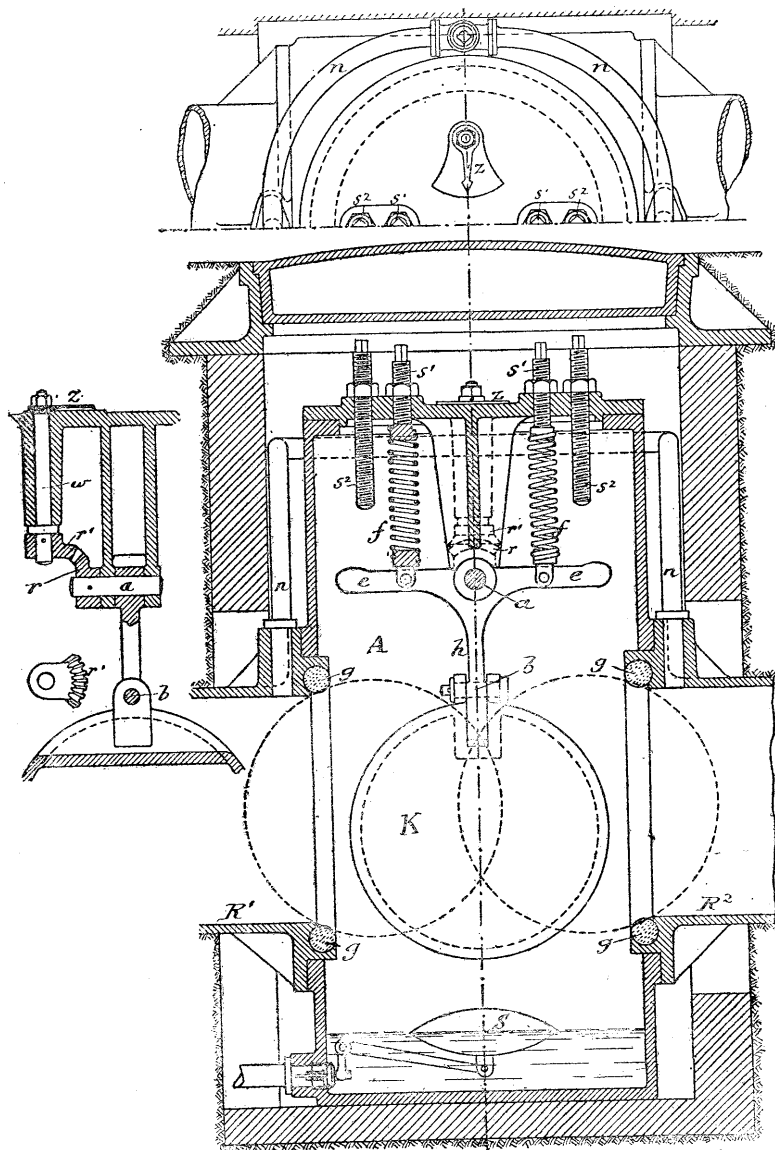


Fig. 173 à 175. — Autoclave purgeur *Proell et Kummer* (1890). — K, sphère suspendue par une articulation *b*, au levier *h e e*, articulé en *a*, et venant, en cas de fuites, s'appliquer sur les sièges élastiques *g g* et fermer celle des conduites d'air comprimé *R' R²* où s'est déclaré la fuite. *f f*, ressorts graduables en *s' s'*, et réglant la sensibilité de la sphère K. *r r'* secteurs dentés indiquant par l'aiguille *z* la position de la sphère K. *s₂ s₂*, contacts électriques signalant les positions extrêmes de K par des sonneries. *n n*, tuyau permettant de rétablir l'équilibre des pressions de part et d'autre de K. S, flotteur du purgeur automatique.

pression en EE. Les soupapes de refoulement ont pour ressorts de rappel des matelas d'air comprimé FF.

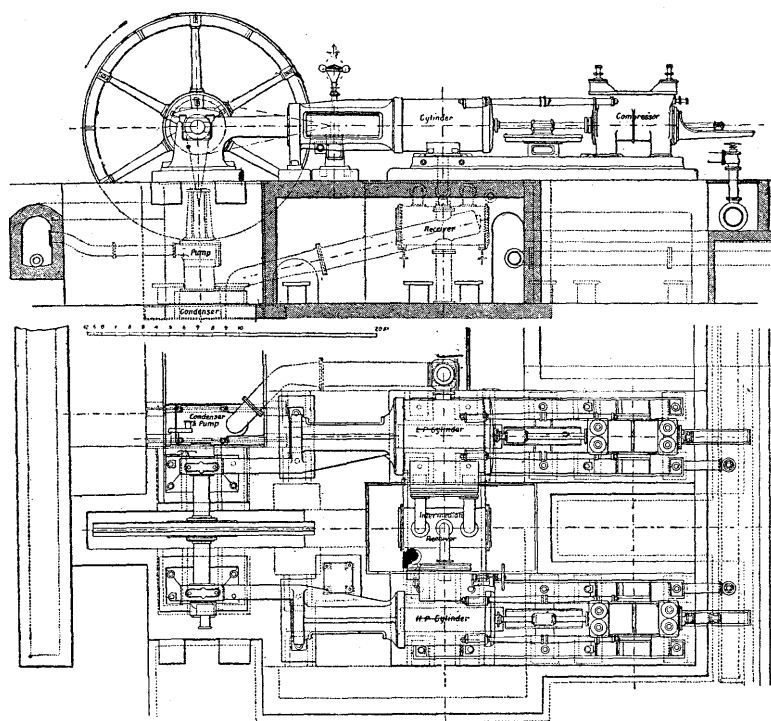


Fig. 176 et 177. — Distribution de Paris. Compresseurs Cockeril. Elévation et plan.

Compteurs. — A Paris, on emploie de préférence des compteurs à turbine d'une exactitude peu rigoureuse, mais très simples (rapport Kennedy). — A Birmingham, on préfère les appareils à capsulismes cylindriques ou à piston. L'un de ces appareils, représenté par les figures 183 et 134, est dû à M. *Sturgeon* ⁽¹⁾.

L'air comprimé, admis en *a*, sort en *b*, après avoir fait tourner proportionnellement à son débit le tambour excentré A, dont le joint avec l'enveloppe B est constitué par deux pistons *p p'*, maintenus en contact avec les parois de B par le guidage de leurs coulisseaux *cc'* dans les rainures *rr'* de AB. Un cliquet *n* empêche tout recul du tambour A. L'axe D de A commande par un train réducteur (fig. 185 et 186) le galet G, d'un totaliseur dont l'axe est relié à un tube de Bourdon *o*, en communication avec l'air comprimé, de manière à le rapprocher d'autant plus du centre des plateaux que l'air est plus comprimé. Le compteur totalise ainsi le produit du débit de l'air par sa pression, c'est-à-dire l'énergie

1. Brevet anglais 16568 de 1884.

totale fournie en air comprimé au moteur. En outre, l'un des plateaux du totaliseur est pourvu de contacts qui, tous les 100 ou les 1000 mètres cubes par exemple, envoient un courant au totaliseur électrique de la station centrale, et le courant même de ce totaliseur déclanche par un électro V le contact du plateau du totaliseur local, de manière que l'appareil central ne soit pas mis en circuit perpétuel au cas où le plateau s'arrêterait sur un contact.

Le totaliseur central est actionné par un électro D (fig. 187) qui fait, à chaque

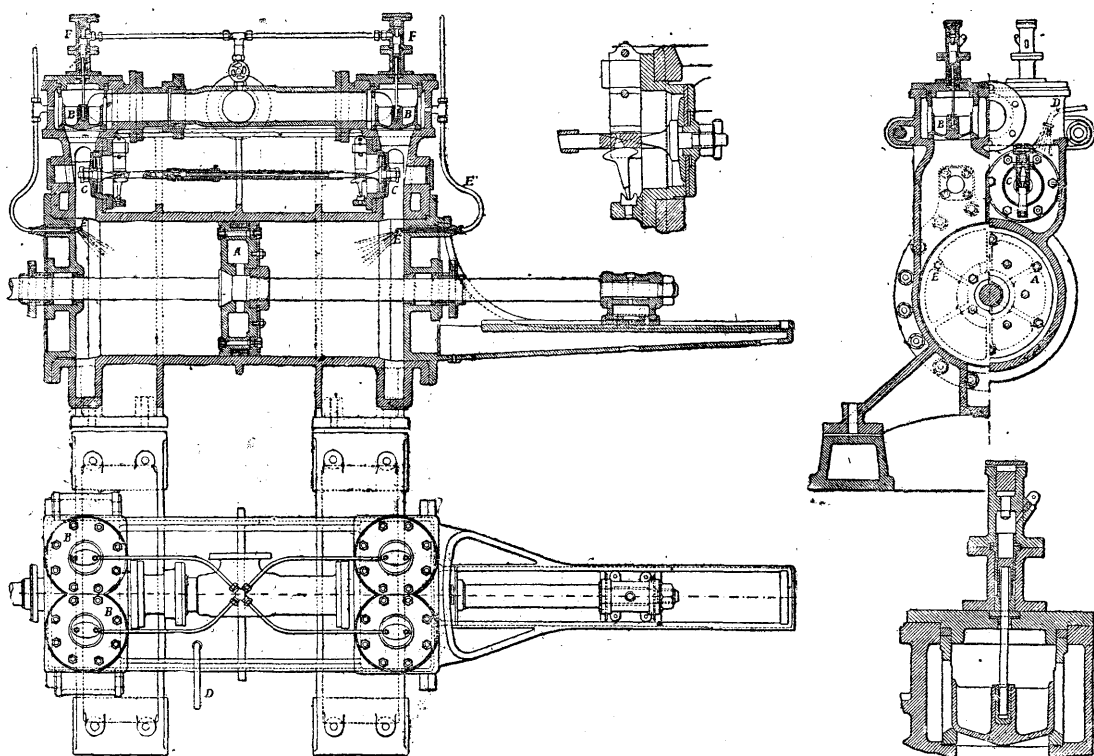


Fig. 178 à 182. — Distribution de Paris. Compresseur Cockeril, détail des cylindres et des soupapes d'aspiration et de refoulement (1).

contact d'un appareil local, tourner d'une dent sa roue A par un rochet Bbh, à ressort de rappel H et à vis de réglage E. Le recul de la roue A est empêché par un second cliquet I. La différence entre les indications de ces compteurs électri-

(1) Les compresseurs qui doivent être installés à la nouvelle usine d'air comprimé de Bercy sont verticaux et font la compression en deux temps, d'abord, jusqu'à deux atmosphères, dans un réservoir refroidi, puis de deux à cinq atmosphères dans le réservoir de distribution (Engineering, 13 mars 1891). On peut ainsi réduire notablement l'échauffement de l'air, mais très peu de travail moteur à dépenser.

ques centraux et celles du compteur central direct, qui donne le débit même des machines, permet d'apprécier les fuites de la canalisation.

Moteurs. — Les moteurs à air comprimé, sont à partir de la force d'environ un demi-cheval, presque toujours construits sur le même plan général que les machines à vapeur, ce qui est très rationnel, et quelquefois même absolument calqués sur

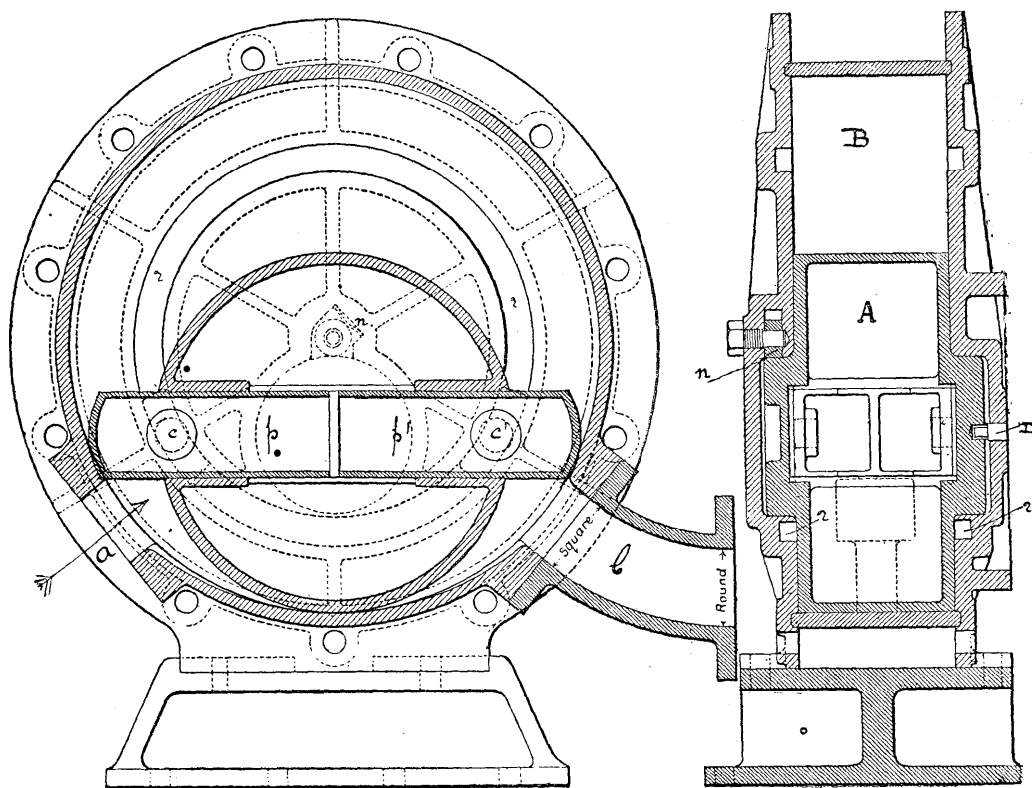


Fig. 183 et 184. — *Distribution de Birmingham, compteur-moteur Sturgeon (1884).* — *a*, arrivée. *b*, sortie de l'air comprimé. *p* et *p'* pistons couissant dans le tambour A, mobile autour de l'axe D, excentré de celui du tambour B, et appliqué sur le pourtour du tambour B par le guidage de leurs coulisseaux *c c'* dans les rainures circulaires *r r'*. *n*, cliquet empêchant tout recul de A.

ces machines, ce qui est un tort. L'emploi de l'air comprimé au lieu de vapeur entraîne en effet quelques changements de détail dans le mécanisme de distribution, les garnitures, etc. Les lumières des tiroirs ne doivent pas présenter les mêmes proportions ; elles doivent être, en général, plus grandes pour l'air comprimé : leur section doit être environ le quinzième de la surface du piston. On doit prendre un soin particulier à bien dégager les orifices d'échappement de tout danger d'obstruction par la glace ou l'eau d'injection destinée à empêcher sa formation. Un moyen d'obtenir sûrement ce résultat, mais qui n'est guère

applicable qu'aux petites machines, consiste à ne plus conserver que le couvercle de la boîte à tiroir et à faire arriver l'air par le dos sous le tiroir : l'échappement s'opère alors directement à l'air par les lumières d'admission. Il va sans dire qu'il convient de régler la distribution des moteurs à air comprimé, comme celle des machines à vapeur, de manière à ménager une compression assez élevée pour assurer la douceur de la marche et une avance à échappement suffisante pour abaisser, dès l'origine du retour du piston, la contre-pression à la pression même celle de l'atmosphère. Cette avance diminue avec la détente et la largeur des lumières; elle augmente avec la vitesse du piston dans des proportions à fixer par tâtonnements.

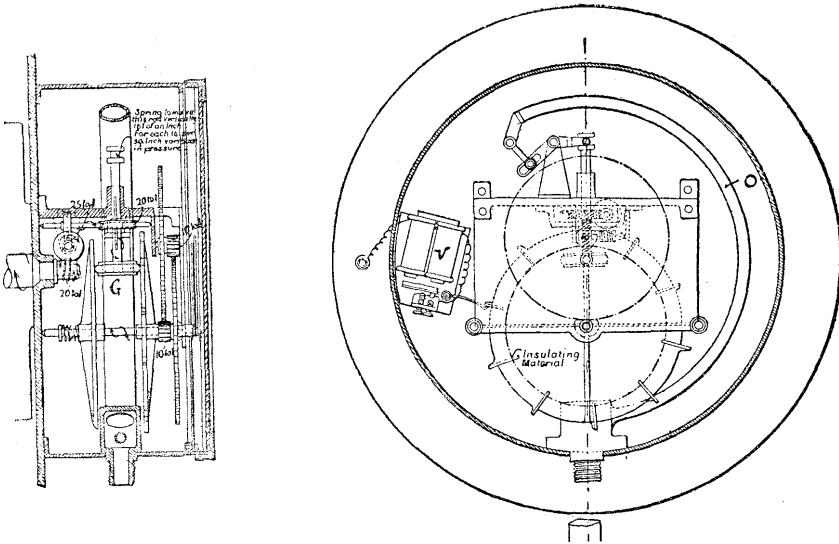


Fig. 185 et 186. — Distribution de Birmingham. Totalisateur-compteur local. — D, axe du compteur (fig. 184), actionnant un totaliseur à plateau par un galet G, calé à rainure la languette sur son axe. O, tube de Bourdon en relation avec la conduite d'air comprimé et écartant le galet totaliseur G de l'axe des plateaux d'autant plus que la pression de l'air est plus élevée. v, électro-aimant déclanchant le contact aussitôt après sa fermeture.

Les garnitures du piston sont ordinairement constituées, comme pour les machines à vapeur, par des segments en fonte ou en acier, mais on pourrait employer avantageusement des segments en bronze frottant sur une chemise en bronze mince, formant enveloppe d'eau chaude. Pour les petites machines — certaines perforatrices par exemple — les garnitures en cuir gras durent très longtemps, avec un frottement très doux et une usure presque nulle du cylindre. On pourrait même essayer, avec les machines petites et rapides, les verticales surtout, des garnitures à gorges d'air, comme celles des machines pneumatiques de *Deleuil*.

Les garnitures des stuffing-box se prêtent aux mêmes observations que celles

des pistons. La garniture Deleuil à rainures d'air s'y appliquent parfaitement pour les machines rapides, comme on l'a fait du reste, même pour la machine à vapeur (Garnitures Sweet) et l'on remplacerait souvent avec avantage les garnitures ordinaires — qu'il faut serrer plus qu'avec la vapeur — par des garnitures à cuirs gras emboutis, à frottement très doux.

Le *graissage* des moteurs à air comprimé doit être particulièrement soigné. Les bonnes huiles minérales, qui ne se congèlent pas et n'épaississent pas, conviennent parfaitement. On emploie quelquefois la glycérine.

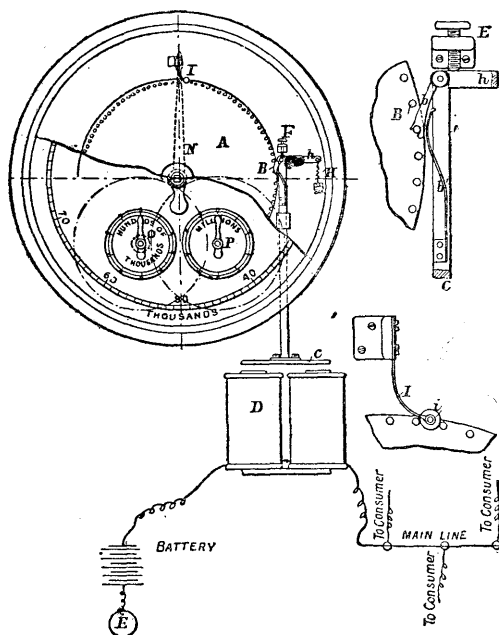


Fig. 187. — Distribution de Birmingham. Compteur central totalisant les indications de plusieurs compteurs contraires, — 3 dans le cas de la figure. — D, électro dont le circuit est fermé par les contacts *v* des compteurs locaux (fig. 186), et dont l'armature *c* à rochet *b*, fait avancer chaque fois d'une dent B la roue A. I, cliquette empêchant le recul de A. E, butée limitant le rappel de *c* par Hh.

La disposition représentée par la figure 188, proposée par M. Popp, a pour objet de récupérer la majeure partie de l'huile entraînée par l'air à l'échappement. Cet air arrive par *f* dans un filtre *g*, d'où l'huile s'écoule dans un récipient *o*, communiquant par une soupape *i* avec le bas du réservoir *k*, lequel communique par *m* avec le robinet de prise d'air comprimé au moteur, et par *n* avec le graisseur *t*. Lorsque le moteur s'arrête, le tuyau *m* ne communique plus qu'avec son cylindre, qui crée dans le réservoir *k*, par les quelques coups de piston qu'il donne avant l'arrêt complet, un vide suffisant pour que l'huile de *o* passe en *k* par la soupape *i*. Lorsqu'on remet en marche, l'air comprimé, revenu en *m*, refoule l'huile de *k* au graisseur, par *n* et par un orifice réglé *r*.

Nous avons vu toute l'importance, la nécessité même de réchauffer l'air avant son introduction dans le cylindre du moteur ou pendant la détente, et que l'un des moyens les plus efficaces d'effectuer ce réchauffement consistait en une injection d'eau chaude. Si l'on pouvait, comme l'a proposé sir *William Siemens* employer à cet effet, l'eau même qui a servi à refroidir le compresseur, la solution serait parfaite ; malheureusement cette solution est presque toujours impossible

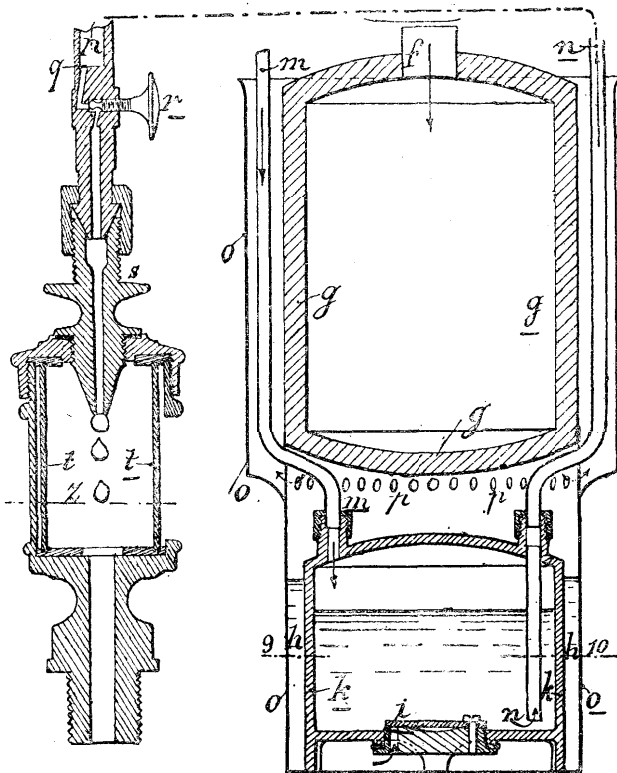


Fig. 188. — *Popp* (1887). Graisseur récupérateur automatique. — $g\ g$, filtre en communication par f avec l'échappement de l'air comprimé et, dont l'huile tombe en $h\ o.\ k$, récipient fermé au bas par un clapet i s'ouvrant de bas en haut, communiquant par m avec la prise d'air comprimé du moteur, et par n avec le graisseur $q\ t$. Quand on arrête le moteur, m aspire en k , par i , de l'huile, que son air comprimé refoule ensuite, par n , au graisseur.

en raison de l'éloignement des moteurs. On a aussi proposé au lieu d'utiliser le travail perdu du compresseur, de consacrer une partie du travail du moteur à produire cet échauffement. C'est la solution proposée récemment par MM. *Schmid et Backfield* dans le moteur représenté par la figure 189. L'ensemble de ce moteur rappelle de très près celui des machines à vapeur Westinghouse mais le piston de détente D est pourvu d'un appendice fonctionnant en pompe dans le cylindre annulaire J. A la montée de ce piston, de l'air comprimé vient de la

conduite générale E en J, au travers de la soupape *b*, après s'être imprégné d'eau dans le pulvérisateur *g*. Au retour du piston D, ce mélange d'air et d'eau, vivement comprimé, est refoulé par L o dans la conduite générale E, à laquelle il abandonne ce qui lui reste de chaleur après avoir échauffé les parois du cylindre de détente et le mécanisme de distribution aux environs de l'échappement P. Cette solution paraît *a priori* d'un rendement trop faible.

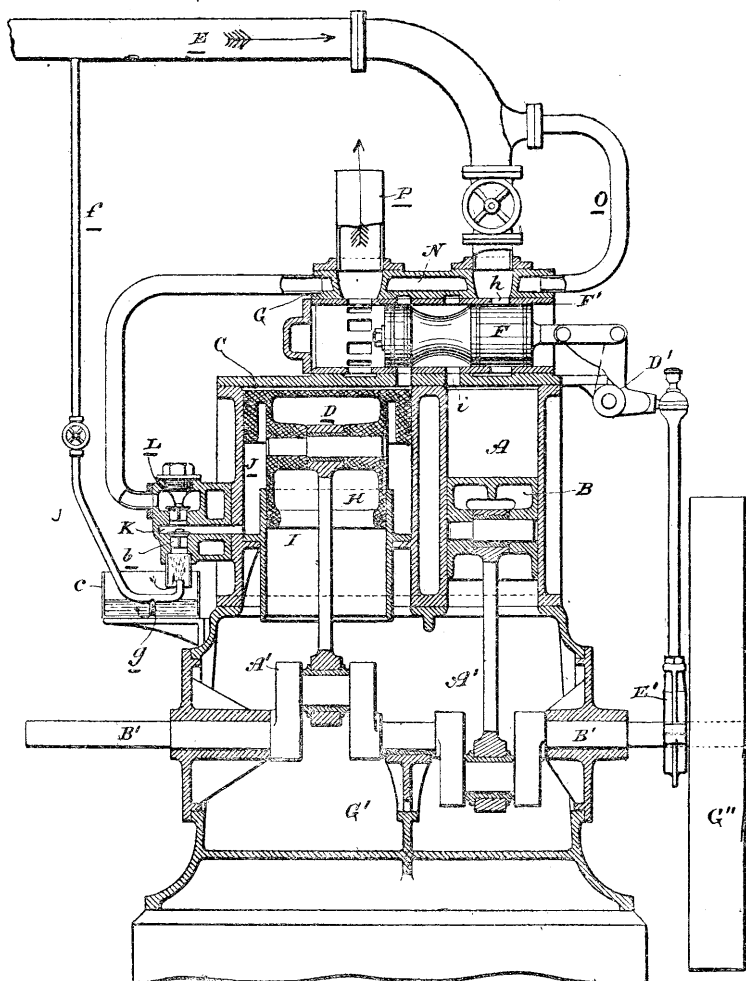


Fig. 189. — Schmid et Beckfeld, moteur à réchauffage mécanique. — E, conduite d'air comprimé. o, dérivation de cette conduite. f, prise d'air comprimé aboutissant à la prise d'eau *g*, sous le clapet *b*.

J, espace annulaire parcourue par le plus grand diamètre du piston différentiel DH du cylindre détenteur *c*. A sa montée ce piston aspire par *b* un mélange d'air et d'eau pulvérisée, qu'il réchauffe et refoule à la descente, par L N o, dans la conduite E.

F, distributeur équilibré, mû par le renvoi E' D F', admettant par *h* l'air comprimé au petit cylindre A, l'échappant de A au cylindre de détente C, puis dans l'atmosphère par P.

G, bain d'huile où tournent l'arbre moteur B' et ses manivelles A', calées à 180°.

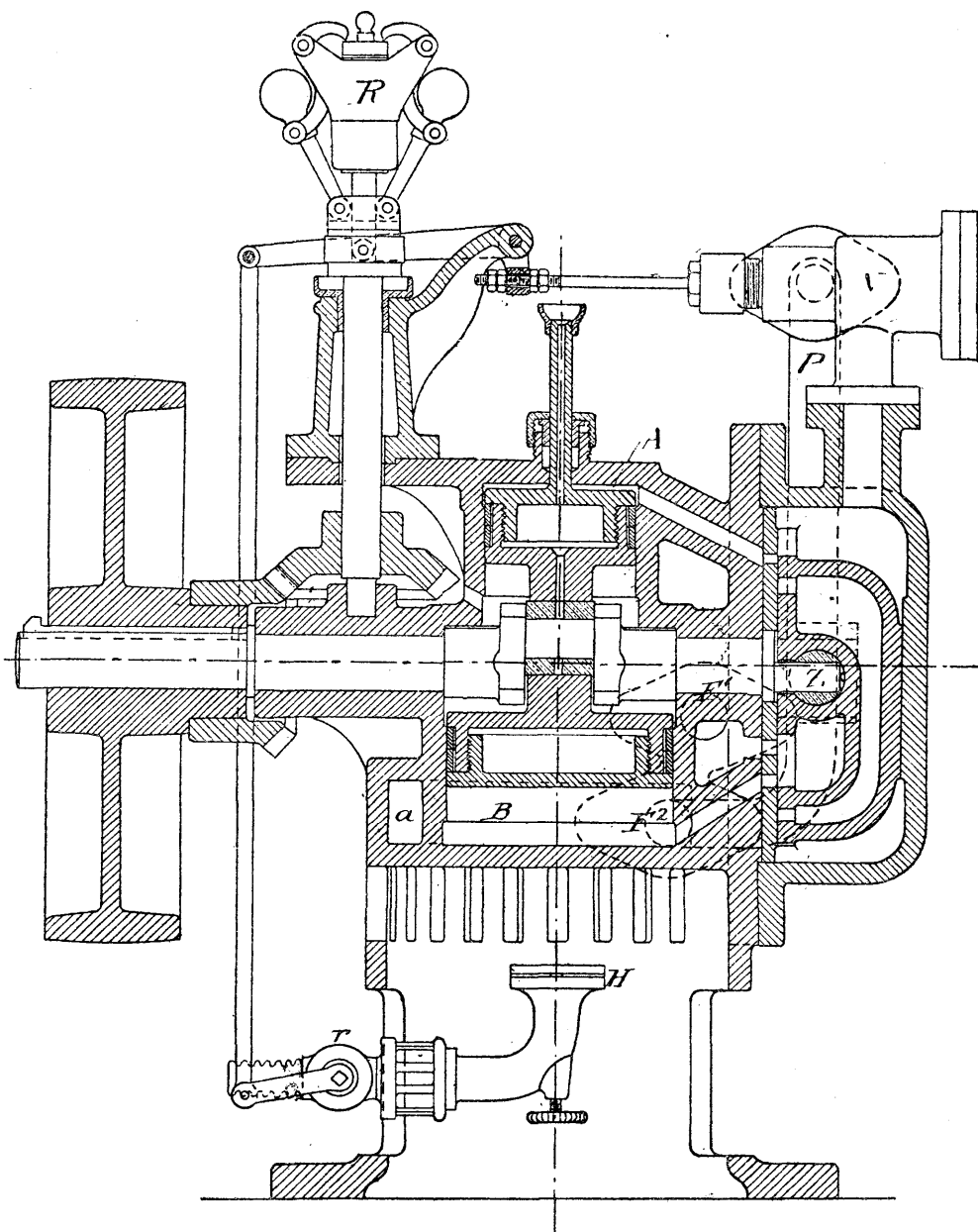
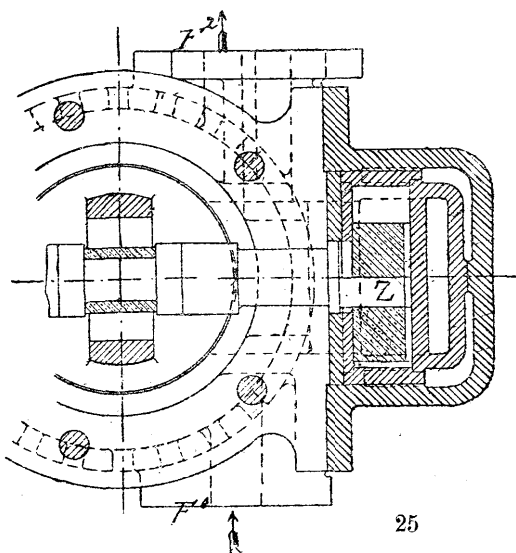


Fig. 190 et 191. — Moteur à air comprimé Proell et Kummer (1890). — A, cylindre de haute pression. B, cylindre de détente chauffé par un bec de gaz H, et pourvu d'appendices destinés à en absorber vivement la chaleur. L'air comprimé entre par F_1 , circule en a autour du cylindre de détente, et pénètre par F_2 et la valve v au tiroir r , qui fait toute la distribution. R, régulateur actionnant à la fois la valve d'étranglement v et le robinet r du chauffage H.



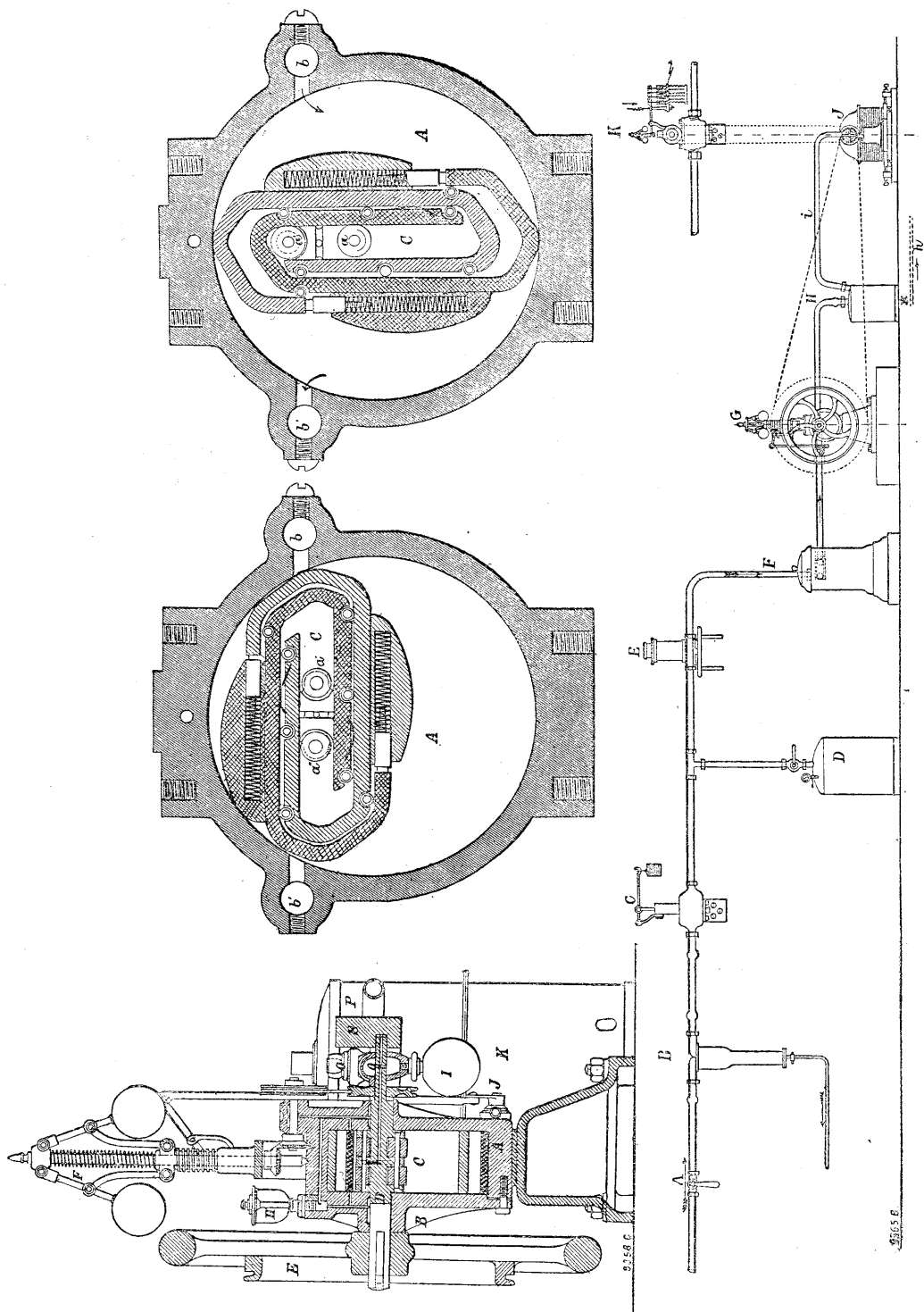


Fig. 192-195. — Détail d'un moteur rotatif *Popp* et ensemble de son installation. — A, cylindre moteur. *b b'* sortie de l'air comprimé. O, robinet de changement de marche intervertissant les orifices *b b'*. J, robinet soumis au régulateur F, étranglant l'entrée ou la sortie de l'air suivant le sens de la marche du moteur. *cc'* pistons s'enveloppant, poussés par des ressorts sur la circonférence du tambour A, et roulant sur des galets *a a'*. A, robinet d'air. B, purgeur (fig. 168). C, régulateur de pression (fig. 165). D, matelas d'air jouant le rôle d'un petit accumulateur. E, compteur. F, réchauffeur (fig. 156). G, moteur. H, réservoir d'échappement. L'eau et l'huile entraînés se séparent par *h. i*, tuyau amenant l'échappement H ainsi purifié sur la dynamo J pour la refroidir. K, régulateur électrique (fig. 196).

Le petit moteur compound de *MM. Proell et Kummer* dont le fonctionnement s'explique par la légende des figures 190 et 191 est au contraire chauffé très commodément par un brûleur à gaz F, soumis au régulateur.

Pour les très petites forces, on emploie de préférence des moteurs rotatifs, d'un faible rendement, mais très actifs et compacts. Les figures 192-194 représentent le type le plus fréquemment employé par la distribution de Paris. Le piston est constitué par deux bandes, dont une figurée, pour plus de clarté par des doubles

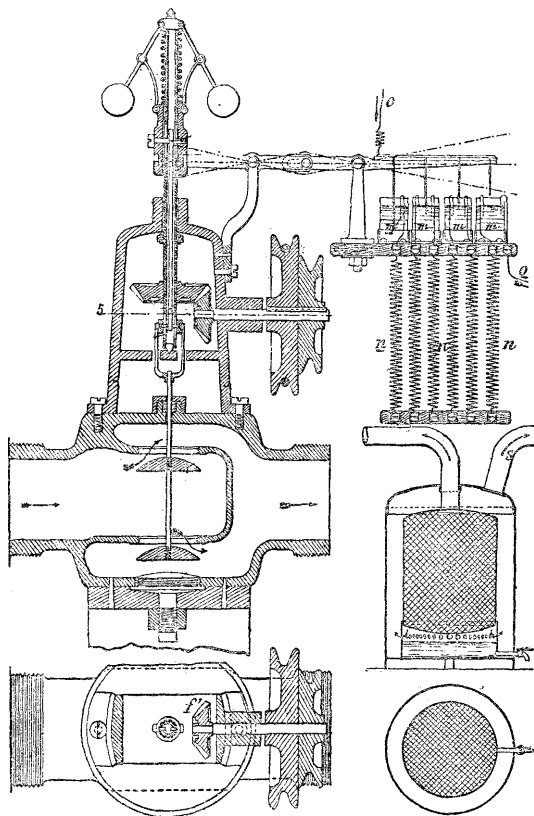


Fig. 196. — *Popp* (1887). — Régulateur d'électricité. En même temps qu'il fait varier l'admission de l'air comme en figure 165, le régulateur augmente ou diminue, suivant la vitesse du moteur, et par les coupes de mercure *mm*, le nombre des résistances *n n*, intercalées dans le circuit de la dynamo qu'il actionne.

hachures, repliées l'une sur l'autre comme l'indiquent les figures, et constamment appuyées par des ressorts sur le pourtour du tambour A, dont la hauteur est égale à leur largeur. Des galets *a a'* font que ces bandes roulent l'une sur l'autre pendant leur rotation. L'air comprimé entre par *b* et sort par *b'* (1).

(1) Voir les brevets anglais *Popp* et *Riedler*, 1752, 1877, 8322, 8369 de 1890 et les brevets français *Popp* 169278 et 172574 de 1885.

La figure 195 représente l'ensemble d'une installation de petit moteur de ce genre et s'explique suffisamment par sa légende. Le régulateur A représenté en détail par la figure 196, est du même type général que celui de la figure 165, mais l'action du poids p est remplacé par celle d'un modérateur à force centrifuge, qui fait, en même temps qu'il étrangle plus ou moins l'admission de l'air comprimé, varier la résistance du circuit oo , en y introduisant un nombre de résistances n d'autant plus grand que le moteur s'emporte d'avantage et que le levier i en sépare plus de godets à mercure m .

ANNEXE

Analyse du Rapport de M. Kennedy (1).

Ainsi que le fait remarquer M. Kennedy, les principaux éléments de toute distribution d'air comprimé se réduisent aux huit parties essentielles représentées schématiquement par la figure 197. Ces éléments sont les suivants :

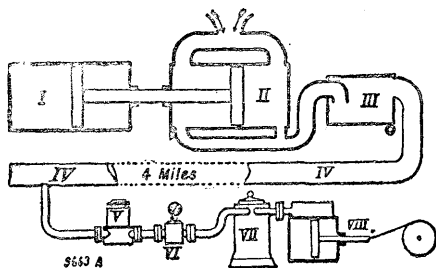


Fig. 197.

Un cylindre de machines à vapeur I, actionnant un compresseur II, rafraîchi par une circulation ou une injection d'eau, refoulant l'air comprimé dans un réservoir accumulateur III, d'où il passe dans la canalisation principale de distribution IV, qui le conduit aux compteurs V des branchements.

De là, l'air comprimé passe à une valve réductrice VI, puis à un réchauffeur VII, et enfin au moteur VIII, qui l'évacue dans l'atmosphère.

Dans les compresseurs de Saint-Fargeau, l'injection d'eau abaisse la température de l'air à 65° , au lieu des 220° qu'elle atteindrait à la fin d'une compression adiabatique, mais ce refroidissement ne se produit qu'après la compression de l'air, de sorte qu'il n'augmente pas sensiblement le rendement du compresseur.

L'air arrive donc aux réservoirs II, sous une pression de 6 atmosphères

1. Experiments upon the Transmission of Power by compressed Air in Paris. British Association (Newcastle), 1890.

chargé d'eau de refroidissement — environ des $\frac{2}{3}$ de son poids — qui se précipite en très grande partie avant qu'il ne pénètre dans la conduite générale IV, de 300 millimètres de diamètre, en fonte épaisse de 10 millimètres, dans laquelle il ne tarde pas à reprendre la température ambiante, de 17° au moment des expériences de M. Kennedy.

Le compteur V le plus souvent employé est un compteur à ailettes d'exactitude médiocre. La réducing-valve VI abaisse la pression de 5 1/2 à 3 1/2 atmosphères.

Le moteur essayé par M. Kennedy, était comme un grand nombre des moteurs les plus importants de la canalisation de Paris, une machine à vapeur de Davey Paxman aucunement modifié pour ce nouvel emploi.

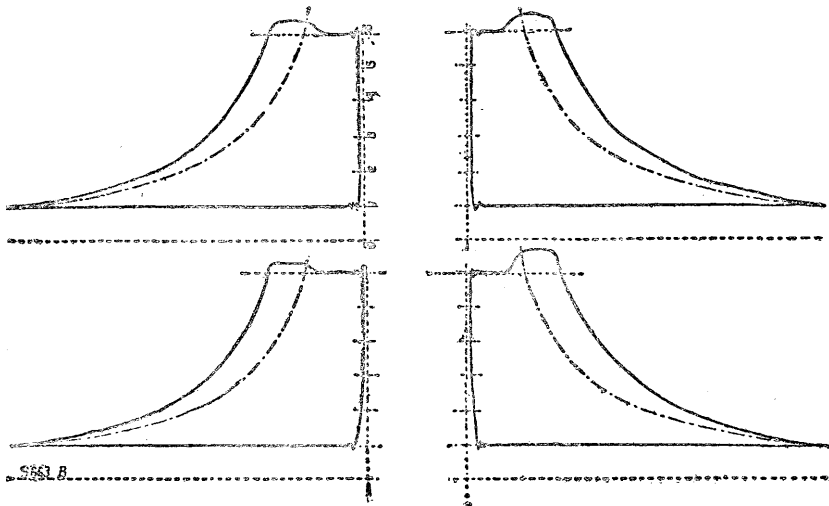


Fig. 198. — Diagrammes aller et retour pris aux deux extrémités des compresseurs. — pression moyenne effective 3 k., 30.

Le rendement total de la distribution ou, plus exactement, de l'élément de distribution essayé par M. Kennedy est le produit des rendements particuliers de la machine motrice I, des compresseurs II, de la conduite IV, de la réducing valve VI, du réchauffeur VII, et du moteur à air comprimé VIII. M. Kennedy a rapporté toutes ses mesures au cheval indiqué, de manière à obtenir comme rendement final le rapport du travail indiqué par le moteur à air comprimé VIII à celui de la machine motrice I, et il a, pour tenir compte du charbon dépensé dans le réchauffeur VII, ajouté au travail indiqué de la machine motrice I celui qu'y aurait développé la combustion de ce charbon dans les foyers de la station centrale, de sorte que la détermination du rendement ainsi obtenue est absolument incertaine. Elle suppose, en effet, que le rendement du

réchauffeur est le même que celui des organes I, II, III, IV, VI de la distribution et de la chaudière de I, ce qui n'est pas démontré.

M. Kennedy appelle *rendement des machines motrices* le rapport du travail indiqué du compresseur II à celui de la machine motrice I. A la vitesse moyenne de 31,5 tours, et avec une compression de 6 atmosphères, ce rendement s'élevait, en moyenne, à 84 5 %. Les diagrammes, fig. 198, n'indiquant aucune fuite au compresseur, et l'injection d'eau remplissant à peu près ses espaces nuisibles, on supposait qu'il débitait à chaque coup sa pleine cylindrée, c'est-à-dire, qu'il aspirait, par cheval-moteur indiqué en I, $9^{\text{m}^3},87$, ou $11^{\text{k}},55$ d'air à 17° et à la pression atmosphérique, puis les comprimait à 5 atmosphères effectives.

Comme cet air comprimé tombe forcément, dans la canalisation, à la température ambiante, M. Kennedy appelle le *rendement du compresseur* le rapport du travail indiqué que l'air comprimé à 5 atmosphères et à 17° développerait en se détendant dans un moteur jusqu'à la pression atmosphérique au travail indiqué du compresseur, ce qui est évidemment le rendement théorique maximum de l'appareil. Ce rendement, ainsi évalué, s'élevait à 61 %; c'est-à-dire, que le travail maximum théoriquement disponible de l'air, au sortir du réservoir III, était égal, à très peu près, à la moitié du travail indiqué des machines motrices. On s'en rend parfaitement compte sur le diagramme (fig. 199).

La température étant supposée constante dans la canalisation, l'air y suit la loi de Mariotte. Si la pression s'abaisse par exemple de A en K par les frottements, le volume de l'air augmente de AG en KL, le point L se trouvant sur l'isothermique de G, et la perte de travail disponible correspondante est représentée par la différence des aires (A.G.H.F) — (K.L.M.F.) limitées par des courbes de détentes adiabatiques. — D'après M. Kennedy, on peut admettre 0,3 atmosphères comme perte de charge moyenne dans la conduite principale à une distance de 4 kil. 800 du compresseur, et avec une vitesse d'écoulement de 75 mètres environ par seconde; mais une partie indéterminée de cette perte de charge est due aux fuites de la canalisation.

On peut évaluer de même la perte par la dépression due à la réducing valve VI. Avec un abaissement total de pression d'une demi-atmosphère: de 5 atmosphères effectives à 4 atmosphères $1/2$, le rendement combiné de la conduite et de la réducing valve était d'environ 0,96. — Dans ces conditions, exceptionnellement avantageuses pour la canalisation, le rendement jusqu'au moteur — non compris le réchauffeur — était de 50 % environ.

Le moteur VIII, essayé par M. Kennedy, était, comme nous l'avons dit, une machine à vapeur de Davey-Paxman à détente variable par le régulateur, de 305 millimètres de course sur 210 millimètres de diamètre. L'essai se fit non pas dans Paris, mais à Saint-Fargeau, et avec une pression de 4 atm. $1/2$: la même que celle de la conduite auprès du moteur à Paris, avec et sans réchauffeur d'air.

Dans l'essai sans réchauffeur, le moteur indiquait 9 ch. 9 à 125 tours, et dépensait $25^{\text{m}^3},20$ par cheval-heure — diagramme KNO (fig. 199). — Ce même poids d'air aurait pu développer en détente adiabatique complète 1 ch. 27, ce qui donne 0,79 pour le rendement thermique du moteur; son rendement organique, étant

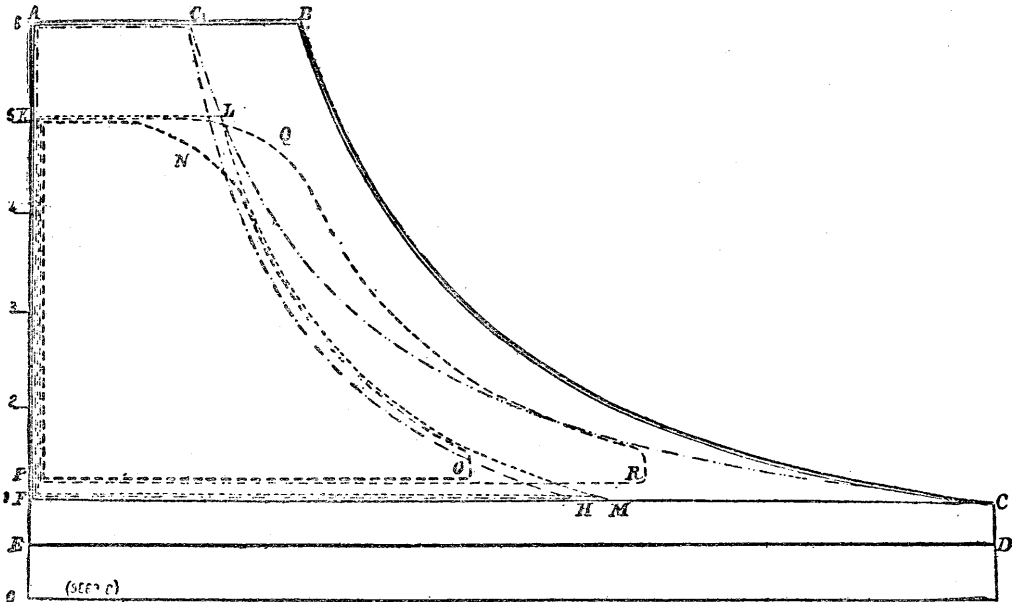


Fig. 199. — A B C D E travail indiqué des machines motrices.

A B C F travail indiqué des compresseurs.

A C H F travail indiqué des machines à air comprimé avec détente adiabatique, sans chute de pression dans les conduites et sans réchauffage.

K L M F travail indiqué des machines à air comprimé avec une chute de pression de une atmosphère dans la conduite.

K N O P travail indiqué réel des moteurs à air comprimé VIII (fig. 199) sans réchauffage.

K Q R P — — — avec réchauffage à 160.

de 0,67 seulement, le rendement total du moteur était donc d'environ 0,53. En somme, le rendement total, de la machine motrice 1 au moteur, était d'environ 0,25, c'est-à-dire, qu'il fallait un travail de 4 chevaux indiqués à la machine motrice pour recueillir 1 cheval au frein du moteur.

La dépense d'air avait été soigneusement vérifiée par des mesures au moyen de gazomètres, qui avaient permis de tarer avec suffisamment d'exactitude les compteurs à turbines.

Aux essais avec réchauffeur, on élevait la température de l'air de 29 à 160°, ou de 129°, avec une dépense de 0 kil. 18 de coke par cheval-heure indiqué au moteur. La dépense d'air passait de $25^{\text{m}^3},20$ à $18^{\text{m}^3},80$ par cheval-heure indiqué, c'est-à-dire qu'elle était réduite de 25 %. Comme le rendement du moteur s'améliorait aussi : passant, de 0,67 à 0,81, le rendement total s'élevait à

0,40, de sorte qu'il fallait développer 2 ch. 25 indiqués à la machine motrice par cheval effectif au moteur, et 1 ch. 92 par cheval indiqué au moteur.

On a donc économisé par cheval-heure, grâce au réchauffage, 6^m3,40 d'air avec une dépense de 0 kil 18 à 0 kil. 20 de coke, qui procurait ainsi une puissance indiquée supplémentaire d'environ 0,3 chevaux-heures, ou une puissance au frein de 0,25 chevaux, de sorte que ce combustible était, dans cet essai du moins, parfaitement utilisé.

Les principaux résultats des essais de M. Kennedy sont d'ailleurs résumés dans le tableau ci-dessous.

Il résulte en somme de ce tableau qu'il ne faut pas s'attendre, même dans les conditions actuelles les plus favorables *de la pratique*—(moteur de 10 chevaux faisant toute sa force, et le réchauffeur étant économiquement conduit pendant l'essai) — à un rendement effectif supérieur à 30 %.

TABLEAU RÉSUMÉ
DES
Expériences de M. Kennedy.

Rendement d'une distribution d'air comprimé avec moteurs de 10 chevaux au bout d'une conduite de 5 kilomètres avec une pression réduite de 5 atmosphères à 4 atm. 1/2.

Un cheval indiqué à la station centrale donne 0,845 chevaux indiqués aux compresseurs, et correspond à la compression de 9^m3,87, ou de 11 kil. 35 d'air à 5 atmosphères effectives.

Rendement de la machine motrice, $m = 0,845$

0,845 chevaux, indiqués aux compresseurs débitent un volume d'air comprimé suffisant pour développer par sa détente adiabatique 0 ch. 52, après avoir pris la température normale de la canalisation.

Rendement du compresseur, $c = \frac{0,52}{0,845} = 0,61$

La perte de charge dans la conduite de 5 kilomètres réduit ce travail maximum disponible de 0 ch. 52 à 0 ch. 51.

Rendement de la conduite, $c' = \frac{0,51}{0,52} = 0,98$

La chute de pression à la valve réductrice réduit la puissance disponible de 0 ch. 51 à 0 ch. 50.

Rendement de la valve, $v = \frac{0,50}{0,51} = 0,98$

Le rendement de la conduite et de la valve réductrice s'élève donc à $0,98 \times 0,98 = 0,96$ pour une perte de charge totale de $1/2$ atmosphère (5 atm. à $4 \frac{1}{2}$). Il aurait été de 0,93, 0,89 et 0,96 pour des réductions à $4,3 \frac{1}{2}$ ou 3 atmosphères.

Les pertes par détente incomplète, laminage, refroidissement, etc., réduisent la puissance indiquée du moteur de 0 ch. 51 à 0 ch. 39.

$$\text{Rendement thermique du moteur, } m' = \frac{0,39}{0,51} = 0,78$$

$$\text{Rendement organique du moteur, } m'' = 0,67$$

Rendement thermique total avec de l'air froid :

$$R = (m c c' v m') = 0,39$$

Rendement effectif total :

$$R' = R m'' = 0,27$$

Avec le réchauffeur. — En chauffant l'air à 160° , la puissance indiquée du moteur passe de 0 ch. 39 à 0,54, et le *rendement thermique total* s'élève à :

$$R_2 = 0,54 \text{ (1)}$$

Le rendement organique du moteur passe de 0,67 à 0,81, et le *rendement effectif total* s'élève à :

$$R'_2 = 0,44$$

Si l'on convertit la dépense de coke (0 kil. 18 par cheval indiqué au moteur) en chevaux indiqués à la machine motrice, le *rendement thermique réel* du système s'abaisse de 0,54 à 0,47, et le *rendement effectif* de 0,44 à **0,35**.

1. On pourrait d'après M. *Riedler* améliorer considérablement le rendement de ce chauffage en l'opérant en deux temps. On utiliserait dans un premier moteur, de l'air chauffé par exemple à 100° ou 150° puis, dans un second moteur, ou dans un second cylindre, l'échappement du premier chauffé à 150 ou 200° . On serait arrivé à une dépense, avec deux moteurs ainsi accouplés — un de 4 chevaux et un de 6 — que 4 mètres cubes d'air à 5 atm. 6 par cheval-heure effectif.

L'AIR RARÉFIÉ

La question de l'air raréfié a été traitée ici même par M. *Hanarte* et par son principal promoteur, M. *Boudenoot*. Je ne puis que renvoyer à leurs travaux pour l'étude générale de cette intéressante question, ainsi que pour la description générale de l'installation de la rue Beaubourg (1).

Je me contenterai de reproduire la description suivante du type de machine à fourreau récemment adopté, après de nombreux essais, par MM. Petit et Boudenoot, pour leur distribution de la rue Beaubourg (2).

L'appareil comporte quatre parties principales : le socle A, le cylindre B, le piston C, le couvercle-bâti D, supportant les organes du mouvement et ceux de distribution, ainsi que le régulateur et l'appareil de prise d'air.

Le socle A est divisé en deux chambres *a* et *b* (fig. 201). L'une *a* est un réservoir d'air raréfié en communication constante avec la canalisation ; l'autre *b* admet l'air ambiant. Toutes deux reçoivent les huiles de graissage entraînées. L'aspiration se fait par l'un des deux orifices *c*, *c'*, que l'on raccorde à la canalisation par un tuyau en plomb ; l'autre est bouché à l'aide d'une bride pleine. — Ces orifices sont en double, afin de faciliter les installations.

La chambre *a* correspond avec le cylindre B par les passages *d d'*, que le tiroir *e* met alternativement en communication avec chacune des faces du piston C par les conduits *f* et *f'*.

Légende des fig. 200 et 201, page 379.

A, socle dont la partie *a* communique avec la canalisation d'air raréfié par l'un des deux orifices C ou C', et dont le conduit *b* met le bas du piston à fourreau C en rapport constant avec l'atmosphère. *dd'*, canal en communication avec la chambre à vide *a*. *e*, tiroir mû par un excentrique G, dont le dos percé K communique avec l'atmosphère par la valve régulatrice (fig. 202 et 203), tandis que sa coquille *l* communique par *d'* avec la chambre à vide. Quand le bas du cylindre communique par K *f'* avec l'atmosphère, le haut communique par *f l d* avec le vide, et réciproquement. *o o*, garniture en cuir embouti graissée par l'huile du réservoir *mm'*. *t*, régulateur actionnant la valve régulatrice *u* par la tige *w* et le levier *v*. *a'* contrepoids *v'*. R, réchauffeur (fig. 203 et 204).

La distribution se fait simplement par un excentrique circulaire G et le tiroir à coquille *e*, de la manière suivante : l'air ambiant, après son passage dans l'appareil *i*, qui sera décrit plus loin, passe dans la capacité K du tiroir *e*, mise en communication, tantôt avec l'orifice *f*, tantôt avec l'orifice *f'* du cylindre B, par le jeu de l'excentrique G. Il provoque ainsi le mouvement alternatif du piston C. — L'échappement a lieu par les mêmes orifices *f* et *f'*.

1. Société des Ingénieurs civils mars 1885 et janvier 1889; *Génie Civil* 27 mars 1886; *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, février 1888.

2. Portefeuille économique des machines (février 1888).

A chaque fin de course, l'air atmosphérique, qui vient d'agir sur une face du piston, est refoulé par le mouvement rétrograde de cet organe dans la chambre *l*, mise en communication avec la chambre *a* du socle A, par les conduits *d* et *d'*, qui se réunissent au milieu du cylindre B pour former l'orifice d'échappement (*d-d'*).

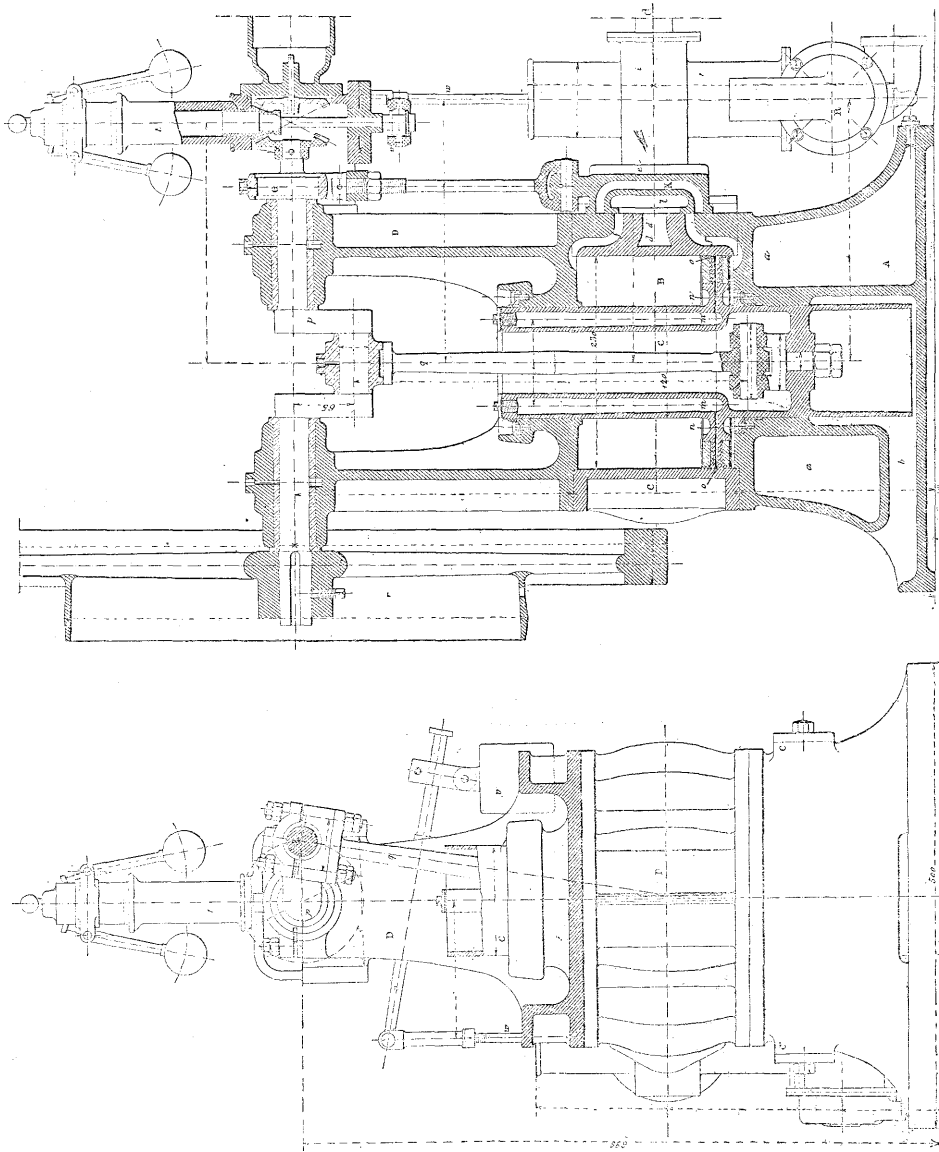


Fig. 200 et 201, Moteur à air raréfié de MM. Petit et Boudenoit. (Echelle 0,1).

Cette distribution ne comporte pas d'autre détente que celle due au calage de l'excentrique G ; elle est d'ailleurs très faible.

L'infériorité théorique de cette disposition est largement compensée par les avan-

Aux passages du fourreau dans le socle A et le couvercle-bâti D, l'étanchéité est obtenue également par des cuirs emboutis, fixés d'une manière analogue. Dans l'intérieur du fourreau se meut la bielle, qui s'y trouve reliée par l'intermédiaire d'une chape fixée à une cloison venue de fonte avec le piston.

La partie supérieure du fourreau porte deux réservoirs à huile m et m' , destinés à assurer le graissage des cuirs et du cylindre. — L'huile passe par les petits trous n et n' et remplit la gorge circulaire o .

Le couvercle-bâti D ferme le cylindre, sert de guide au piston et reçoit à sa partie supérieure, dans des coussinets à longues portées, l'arbre vilebrequin p ac-

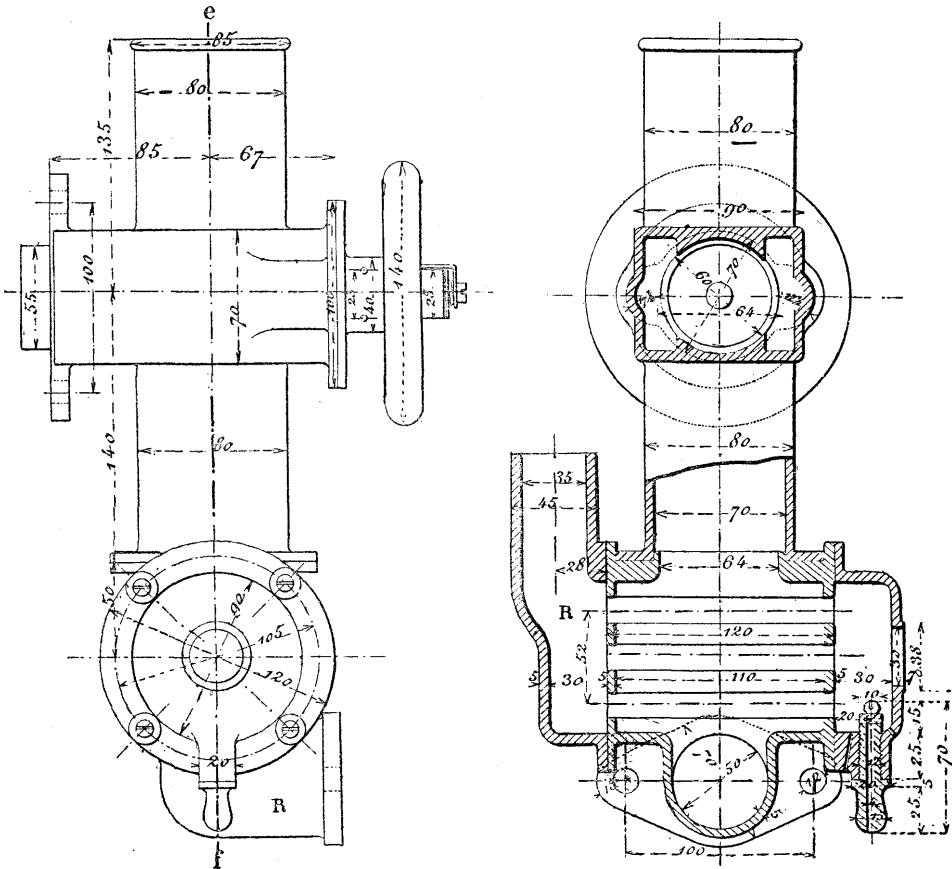


Fig. 204 et 205. — Moteur à air raréfié Petit et Boudenoot de 100 kilogrammètres. Détail du réchauffeur R. (Echelle $\frac{1}{5}$). Elévation et coupe *ef*.

tionné par la bielle q . A l'une des extrémités, le vilebrequin reçoit le volant-poulie r ; à l'autre se trouve l'excentrique de distribution G et le pignon conique s , destiné à communiquer le mouvement au régulateur t , qui est fixé au bâti D , à l'aide de vis.

Le régulateur t actionne le piston u (fig. 202 et 203) de l'appareil de prise d'air i , par l'intermédiaire du levier v et de la tige w réglable en hauteur. Sous l'action du régulateur, le piston u peut ainsi occuper en hauteur des positions variables. Il

porte quatre ouvertures x, x', x'', x''' , ayant des dimensions d'une section déterminées par la pratique. L'air passe par ces ouvertures et se rend au tiroir j en traversant l'intervalle laissé libre par la soupape y , qu'on a eu soin de lever au préalable, et, de là, se distribue sur les deux faces du piston, comme cela a été dit plus haut.

Il résulte de cette disposition que le poids d'air introduit dans le cylindre à chaque course peut varier, qu'il dépend de la position des orifices x, x', x'', x''' , par rapport à l'arête zz (fig. 202), et que le régulateur modifie la puissance du moteur, en la proportionnant, à tout instant, à la force à distribuer.

La soupape y sert à produire l'arrêt du moteur en interrompant l'introduction de l'air atmosphérique dans le cylindre.

Pour parer, en hiver, pendant la période des grands froids, aux inconvénients du laminage de l'air à travers les orifices du piston u et à ceux de la petite détente dans le cylindre, l'appareil de prise d'air est muni d'un réchauffeur R , qui est chauffé au gaz, au pétrole ou de toute autre manière (fig. 204 et 205).

Pour répondre aux différents cas d'applications qu'un même type de moteurs est appelé à résoudre, le levier v du régulateur est muni d'un contrepoids mobile v' , pouvant faire varier, dans une limite assez étendue, la vitesse de régime de l'appareil.

Le régulateur comporte une disposition spéciale pour l'enregistrement de la marche du moteur. Une roue conique actionnée par le pignon du régulateur fait tourner un petit axe qui possède même vitesse que l'arbre vilebrequin p et actionne un compteur qui enregistre le nombre de tours du volant pendant un laps de temps déterminé. Ce compteur peut donner jusqu'au nombre de dix millions.

Ces moteurs sont, avant leur pose, essayés au frein. Voici, à titre d'exemple, quelques résultats extraits d'une intéressante monographie de M. *Dausat*, chargé du service de l'exploitation de l'usine de la rue Beaubourg.

Ces essais consistent dans l'application du frein Prony, d'une part, et, d'autre part, dans le relevé de diagrammes pris dans le cylindre des moteurs. On établit ainsi un rapport qui constitue, en somme, le rendement organique ou matériel du moteur. De plus, des relevées à l'anémomètre permettent de connaître la consommation d'air.

Voici les résultats d'expériences faites sur un moteur à fourreau d'une force de 50 kilogrammètres.

Désignation	Nombre de tours par minute.	Pression moyenne.	Consommation d'air par minute.	Force indiquée au diagramme.	Force indiquée au frein.	Rendement organique
		atmos.	litres.	kgmts.	kgmts.	
Marche à vide	140	0,144	4	26 1/3	»	»
Marche en faible charge	134	0,282	7	49 1/2	33,58	68 %
Marche en charge moyenne . . .	125	0,414	11	67 2/3	54,86	81
Marche en pleine charge	115	0,540	16	81,25	72,06	88

L'anémomètre est un tube cylindrique de 0^m,10 de diamètre, portant à l'un des orifices un axe sur lequel tourne une roue à ailettes. Par l'autre orifice l'appareil est relié à la prise d'air du moteur, de sorte que, pendant la marche, tout l'air aspiré qui traverse le moteur passe d'abord dans le tube et fait tourner la roue à ailettes. Cette roue, au moyen d'un pignon d'engrenage, met en mouvement un compteur qui indique la vitesse en mètres par minute. Comme on connaît les sections du tube, il est facile d'en déduire le volume d'air entré, c'est-à-dire la consommation d'air par minute.

On soumet généralement chaque moteur à une série d'essais analogues, à vide, et aux différentes vitesses correspondant aux régimes de travail auxquels sera soumis le moteur.

Les résultats obtenus ont été trouvés à peu près les mêmes pour tous les moteurs de même catégorie. On a ainsi constaté que les machines à air donnent un meilleur rendement lorsqu'elles marchent en pleine chagre que lorsqu'elles fonctionnent sous charge faible; en outre, on a reconnu que le rendement organique obtenu est aussi bon que possible (68, 81, 88 %), supérieur même à ce qu'on avait espéré. Ce résultat montre que les dispositions adoptées pour la machine ont été bien conçues et fait honneur à ses constructeurs MM. Sarallier et Pradel. Le mécanisme en est soigné, et pourtant tous les organes sont robustes, et le moteur est facile à conduire à toutes les allures.

MM. Petit et Boudenoot ont, dès l'origine, parfaitement compris que l'air raréfié ne pouvait servir ni à transmettre des puissances considérables, ni à distribuer la force à de grandes distances : ils se sont sagement bornés à distribuer l'air raréfié à un grand nombre de petits moteurs de 1/2 à 1 1/2 cheval, répartis dans un rayon de 700 à 800 mètres autour de leur usine. — La distribution, commandée par trois machines à vapeur de 90 à 100 chevaux, actionne environ 150 de ces moteurs. Établie sans charlatanisme, sans autre visée qu'un but purement industriel, cette entreprise, absolument honorable, paraît actuellement en prospérité, appelée à ne pas quitter le quartier où elle s'est établie, mais, au contraire, à s'y développer, au grand avantage des industries si intéressantes auxquelles elle rend déjà de grands services. — Il convient d'ailleurs de faire remarquer que ce succès n'est pas venu dès le premier jour, ni par une sorte de hasard heureux, qui ne se présente guère dans l'industrie : ce succès est venu lentement, grâce à la persévérance aussi prudente qu'éclairée des promoteurs de l'entreprise, qui ont su parfaitement choisir le quartier de Paris peut être le mieux adapté à leur installation, limiter leur entreprise aux bornes mêmes fixées par la valeur de l'agent employé, et ne négliger aucun détail d'installation ni d'exploitation afin de faire rendre à ce système de distribution tout ce que l'on pouvait espérer de son extrême simplicité.

MOTEURS A VAPEUR DOMESTIQUES

Les moteurs à vapeur domestiques se divisent en deux classes : les moteurs branchés sur une distribution de vapeur et les moteurs indépendants, qui fonctionnent au moyen d'une petite chaudière. Quelques-uns de ces derniers moteurs présentent d'ingénieuses dispositions dans le but d'en assurer l'économie et surtout la sécurité ; les premiers ne présentent, en général, rien de particulier comme moteurs. Tout l'intérêt est dans leur canalisation.

Comme le sujet de la distribution de la force par la vapeur n'a pas été traité au Congrès de mécanique, nous en décrirons quelques types avec plus de détails que nous ne l'avons fait pour l'air comprimé et l'air raréfié.

Distributions de vapeur et d'eau surchauffée.

Les distributions de vapeur et d'eau surchauffée, pour le chauffage et la force motrice, fonctionnent en effet depuis une dizaine d'années déjà, dans plusieurs citées des États-Unis, parfois sur une très grande échelle, comme à *New-York* et à *Boston*, par exemple. Nous décrirons tout d'abord ces deux installations, avant d'examiner leurs conditions générales d'établissement et leurs détails les plus importants, dont la critique sera plus facile après que l'on se sera fait, par ces descriptions, une idée suffisamment exacte du système.

Distribution de vapeur de New-York (1).

Les travaux de la distribution de New-York ont été entrepris pendant l'automne de 1869, par M. *Emery*, ingénieur de la *New-York Steam Company*, d'après un système général dû à M. *Holly*, et que cet inventeur avait déjà installé, mais à une bien moindre échelle, dans plusieurs villes des États-Unis.

On divisa la ville de New-York en une dizaine de sections de 800 mètres environ de rayon, qui devaient être chacune desservie par une station centrale, et l'on commença par l'installation de la station B — Cortland Street — qui fonc-

1. D'après les travaux de M. C.-E. *Emery*. *Scientific American*. suppl. 29 mai 1886 p. 8664. *Journal of the Franklin Institute*, mai 1888, p. 169. *Institution of Civil Engineers London*, 2 mars 1889.

tionne continuellement depuis avril 1884, et qui dessert un quartier d'affaires et d'industrie des plus importants, dont les rues atteignent un développement d'environ 35 kilomètres. Le bâtiment de la station centrale, construit pour pouvoir loger les chaudières destinées à fournir à ce quartier la moitié de sa consommation de vapeur prévue, peut suffire à une production de vapeur équivalente à 16 000 chevaux; actuellement, les chaudières n'en débitent que 12 000, dans une canalisation de 8 kilomètres, dont plusieurs tuyaux ont jusqu'à 445 millimètres de diamètre.

Pendant l'automne de 1886, on ouvrit une seconde station — la section A — beaucoup plus petite.

La station B fournit de la vapeur à plus de 500 abonnés pour le chauffage, la cuisine, la force motrice sous toutes les formes et pour tous les travaux : ascenseurs, éclairage électrique, ventilation, imprimeries de plusieurs grands journaux, manipulation et chauffage de la poste centrale, etc, M. Emery estime à plus de 500 le nombre des machines motrices alimentées par cette distribution.

Ces moteurs sont très variés. On compte parmi eux un certain nombre de grandes pompes pour élévateurs, ascenseurs etc., atteignant, avec l'éclairage électrique, des puissances de 50 à 100 chevaux. A la poste centrale, les ascenseurs absorbent plus de 100 chevaux, et le chauffage, de 140 000 mètres cubes, au moins 200 chevaux en hiver. Quelques imprimeries ont des machines de 50 80 et 100 chevaux. A l'une des stations Edison, on absorbe 200 à 300 chevaux pour venir, dans les heures les plus occupées du jour, en aide aux chaudières de cette station (1). La Western Electric C^{ie} emploie aussi la vapeur de la canalisation pour actionner ses appareils télégraphiques, son éclairage électrique et ses machines à comprimer l'air.

Canalisation. — Joints à diaphragmes. — La pose de la canalisation était extrêmement difficile, en raison principalement de l'encombrement du sous-sol de New-York.

Tout d'abord, la haute pression adoptée (5 kil. 60) et le grand diamètre des tuyaux rendaient impossible l'emploi des stuffing-boxes, qui furent souvent, même aux basses pressions; il fallut les remplacer par les joints flexibles et tout à fait étanches représentés par les figures 206 à 207. Ces joints, très ingénieux, sont constitués par des chambres à un — fig. 206 — ou à deux diaphragmes, reliées à la canalisation principale par des brides à emmanchement sphérique. — Les diaphragmes sont en cuivre ondulé de 1 millimètre seulement d'épaisseur, et conso-

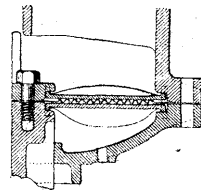


Fig. 206.
Coupe d'un diaphragme.

1. Dans certains cas, c'est l'inverse, les stations électriques chauffent des quartiers par leur vapeur d'échappement. (Providence Electric Light. Convention. Fév. 1891). The Distribution of Steam from central Stations. by F. H. Prentiss).

lidés par des supports rayonnants profilés en solides d'égale résistance de 150 millimètres de long, renforcés sur la face du diaphragme ouverte à l'atmosphère. Chaque diaphragme permet un jeu de 30 à 35 millimètres; il y en a un environ tous les 15 mètres. Les branchements des clients se font, comme l'indiquent les figures 207 sur les boîtes des diaphragmes. Avant la pose, chacun de ces diaphragmes est soumis une fois par minute, pendant plusieurs jours, et sous la

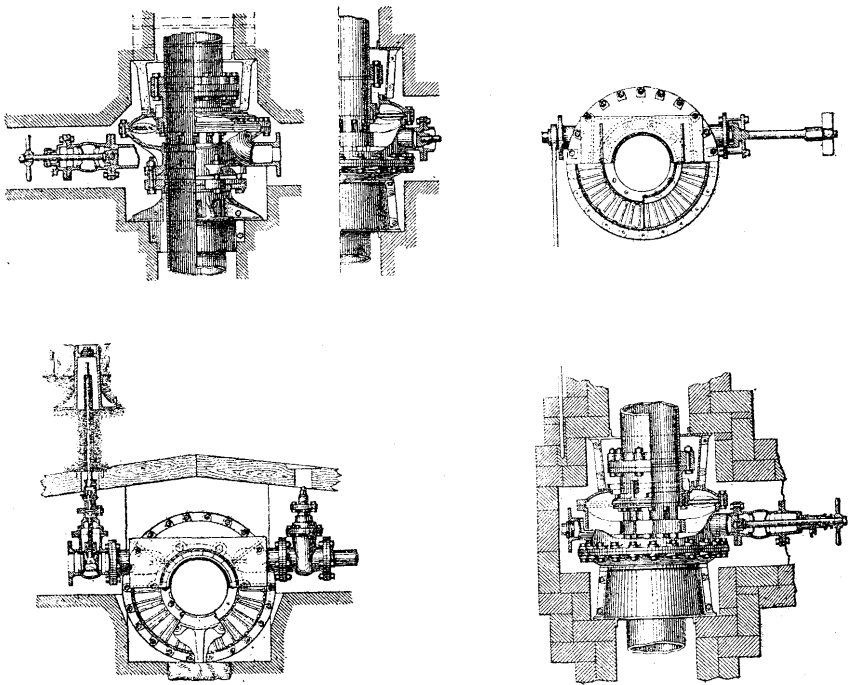


Fig. 207. — Types de joints à diaphragmes et de prises de vapeur.

pleine pression de la vapeur, à des déplacements de 13 millimètres. On arrive ainsi à constituer des joints parfaitement étanches et d'une durée en apparence illimitée.

Dans la pratique, en effet, ces joints ne subissent presque pas de dilatations, tant que l'on conserve la vapeur dans les tuyaux, ce qui a lieu, en fait, pendant des années. Ils ne fatiguent réellement que dans les cas bien rares où il faut vider leur conduite.

Les principaux détails de la canalisation sont représentés par les figures 207 à 212. La canalisation est double : une pour l'envoi de la vapeur, et l'autre pour le retour de l'eau condensée et des purges. Ces canalisations, entièrement distinctes, mais aussi rapprochées que possible, ont tous leurs joints à brides rendus étan-

ches par une rondelle mince de cuivre ondulé peinte au minium. Le diamètre extérieur de ces rondelles est égal à celui du cercle intérieur des boulons du joint, ce qui en facilite la pose, car il suffit, pour rentrer la rondelle, de la laisser tomber dans le joint entrebâillé sur les deux ou trois boulons inférieurs déjà posés. La canalisation, enterrée dans des caniveaux en briques de 200 millimètres

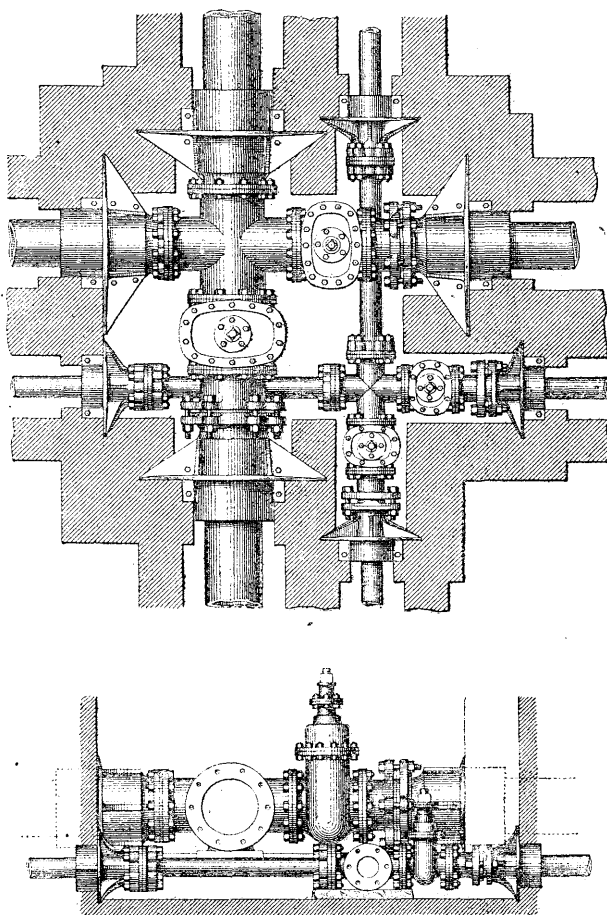


Fig. 208. — Distribution de vapeur de New-York. Croisements rectangulaires.

d'épaisseur, est isolée par une enveloppe de laine minérale, disposée en vrac dans des caniveaux formés par des bois de 100 millimètres d'épaisseur, cimentés, clos au papier, et goudronnés à chaud par dessus.

Purgeurs. — La figure 211 représente l'installation de deux purgeurs, l'un permanent, à gauche de la figure, et l'autre temporaire, vertical, servant à purger

l'air et la condensation au premier chauffage de la canalisation. Les plaques d'accès sont doubles, de manière que la fermeture intérieure soit à l'abri de l'usure.

Les croisements ont (fig. 210) l'une de leurs extrémités pourvus d'un joint sphérique en cuivre qui facilite leur raccordement avec le tuyau correspondant.

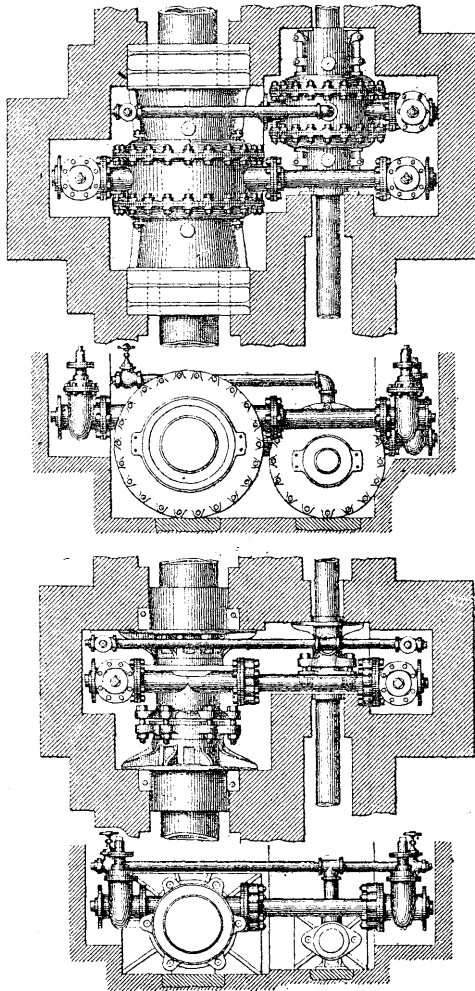


Fig. 209. — Distribution de New-York. Raccords libres et encastrés.

Les prises de vapeur, toutes à brides (fig. 206) ont 80 millimètres de diamètre et peuvent fournir 50 à 20 chevaux. Elles sont fermées par un bouchon à vis forcé, que l'on remplace (fig. 212) par une valve à vis quand on ouvre la prise au

service. Pour effectuer ce remplacement, on commence par décaler un peu le bouchon à vis avec une forte clef, puis on place la valve et on boulonne sur la bride extérieure un chapeau percé d'une garniture pour le passage d'un mandrin au moyen duquel on dévisse le bouchon, que la vapeur chasse dans le chapeau au travers de la valve ouverte. Il ne reste plus alors qu'à fermer la valve, à retirer le chapeau et à le remplacer par une bride pleine.

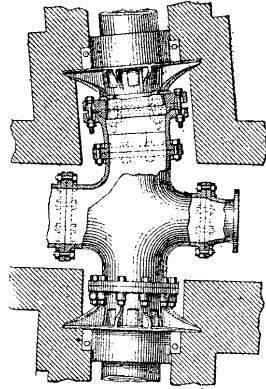


Fig. 210.
Détail d'un croisement.

La canalisation est tout entière en tubes de fer de 380 et 405 millimètres de diamètre extérieur et de 6 millimètres d'épaisseur, sauf une petite longueur où elle a 280 millimètres et 330 millimètres de diamètre sur 5 millimètres d'épaisseur. On les a reliés aux brides par une sorte de mandrinage analogue (fig. 212) à celui des tubes de chaudière, mais l'extrémité du tube porte sur une gorge tournée dans la bride, et qu'il remplit avec une poussée de 20 à 25 tonnes, de manière à constituer une sorte d'assemblage par emboîtement. Ces assemblages par mandrinage peuvent résister à des pressions hydrauliques de 30 atmosphères. Il ne s'y est guère produit de fuites que là où des négligences de pose — principalement dans l'établissement des dés en maçonnerie — avaient laissé sans support des longueurs de tubes de 12 à 15 mètres. On a, en plus, ménagé au collet de chaque bride une gorge de 6 millimètres de largeur et de 25 millimètres de profondeur, pour y recevoir une garniture en cas de fuite accidentelle. Cette précaution fut des plus utiles pour réparer les fuites dues principalement aux nombreuses négligences apportées à l'origine dans la pose des tuyaux. Les branchements à joints à bride ou à vis varient de 280 millimètres pour les très-grosses installations à 60 millimètres pour les petites.

Chaudières. — Le bâtiment des chaudières est à quatre étages de 22^m,50 de front sur 36 mètres de profondeur. Les chaudières, du type tubulé *Babcox-Wilcox* sont au nombre de 48, de 250 chevaux chacune, 16 par étage, disposées sur deux rangs avec foyers en regard. Le charbon est amené par un élévateur dans une trémie au-dessus des chaudières, et les résidus sont évacués par les wagonnets mêmes qui amènent le charbon au bas de l'élévateur. La manutention du charbon, du port à la grille, ne coûte que 1 fr. 75 à 2 fr. 50 la tonne. On brûle de l'anthracite avec une vaporisation d'environ 8 kilogrammes. La vapeur passe, avant d'arriver à la canalisation, par des antiprimeurs. L'eau de retour de la canalisation revient aux chaudières, avec le complément nécessaire, sous forme d'eau d'alimentation, à 90°.

Pertes, Condensation, Fuites. — Contrairement à l'opinion générale, la

principale perte de la distribution ne provient pas d'une condensation de la vapeur dans les tuyaux; on peut, d'après M. Emery, la réduire à environ 5 %. De même que pour le gaz et l'air comprimé, la principale difficulté provient des

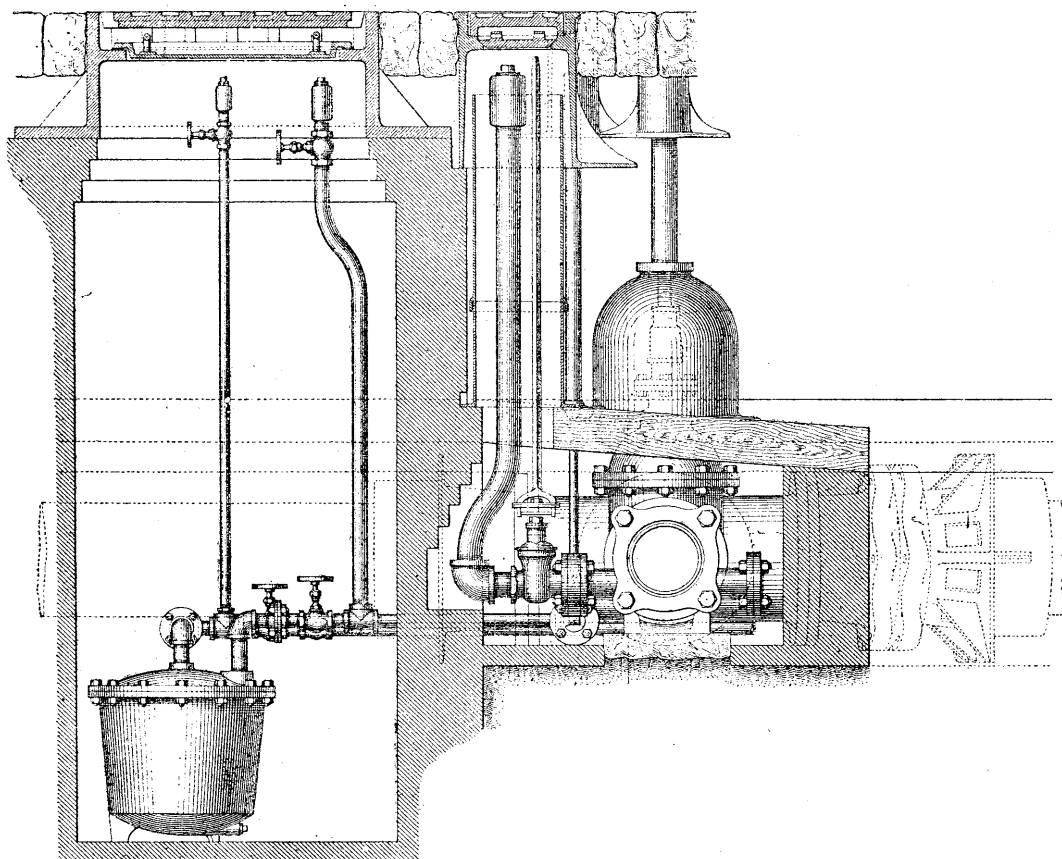


Fig. 211. — Distribution de New-York. Détail des purgeurs.

fuites presque inévitables à cause de l'extrême multiplicité des joints. Ces fuites difficiles, désagréables et coûteuses à réparer, ont été, à l'origine surtout, plus nombreuses qu'on ne s'y attendait, parce que les ouvriers apportaient trop de négligence à la pose des tuyaux.

En 1886, avec un service de 6 000 chevaux l'hiver et de 3 000 chevaux l'été, les pertes par condensation équivalaient environ à 150 chevaux, soit à 25 % de la vapeur distribuée en hiver, et les fuites perdaient plus de 300 chevaux. — En août 1887, avec plus de 12 000 chevaux, ces pertes s'élevaient respectivement à 350 et à 720 chevaux; l'augmentation considérable de la condensation tenait

principalement à ce que chaque abonné avait été pourvu d'un purgeur lui permettant de se servir à volonté de la vapeur sans aucune précaution contre les coups d'eau.

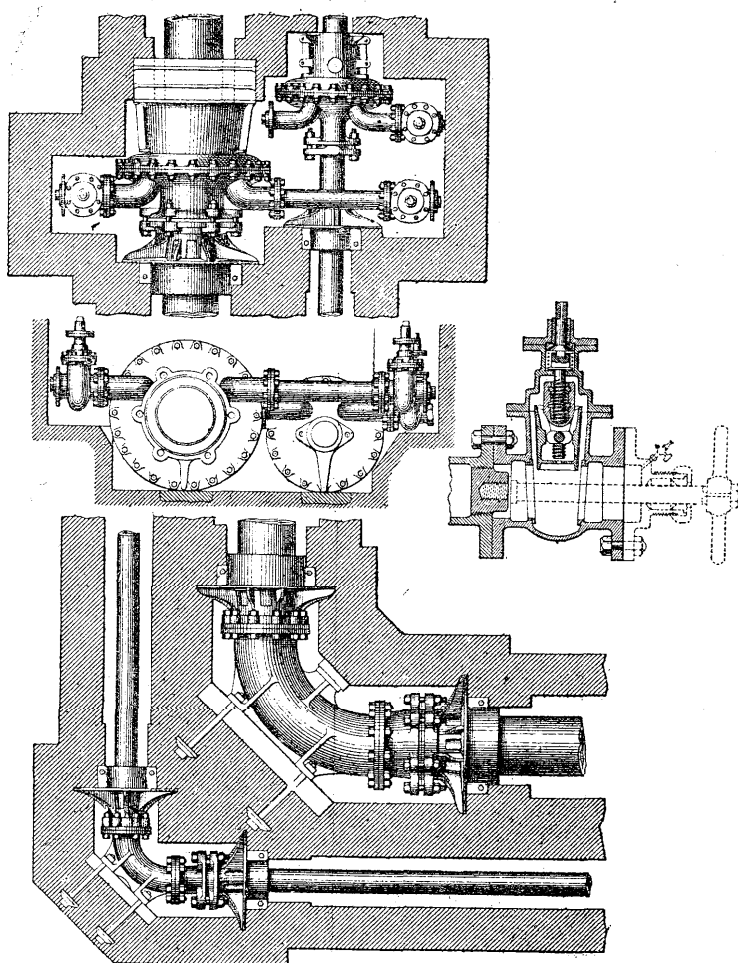


Fig. 212. — Distribution de New-York. Types de raccords, passage d'un coude et détail d'une valve de prise de vapeur.

Dépense d'établissement. — Le prix de la canalisation en place, y compris l'entretien d'un an, a varié de 130 francs par mètre, pour des tuyaux de 150 millimètres avec retour de 100 millimètres, à 250 francs pour une double canalisation de 380 millimètres, avec retour de 150 à 200 millimètres. L'établissement du tube moyen de 230 millimètres, avec retour de 100 à 150 millimètres, coûte environ 200 francs par mètre, se décomposant comme il suit :

Tuyau.	42.25
Joints à diaphragmes, ancrage, valves, brides, etc.	55.30
Briques et calorifuge en laine minérale	46.20
Main-d'œuvre et pose	23.90
Creusement des canivaux, dépavage et repavage.	34.05
	<hr/> 201.70

On voit que le tuyau même ne coûte guère que 20 % de la dépense totale.

Afin de tenir compte de l'amortissement des dépenses du premier établissement, des essais et d'un entretien de plusieurs années, on a porté sur les livres de la Compagnie le prix moyen du mètre de canalisation à 310 francs.

Lorsque la station B sera complète, à 16 000 chevaux, elle aura coûté environ 8 300 000 francs ; mais M. Emery estime qu'on pourrait en établir une pareille pour 5 000 000 dans un quartier moins encombré, et en profitant de l'expérience acquise.

Résultats d'exploitation. — Au printemps de 1886, on avait distribué depuis six mois, (155 jours de 10 heures) une moyenne de 2650 chevaux ; pendant les six autres mois, on en distribua 5 206. On avait livré 450 et 1730 chevaux pendant les heures perdues de ces mêmes journées ; 450 et 1730 chevaux pendant les 24 heures de chacun des 28 jours de fêtes correspondant à ces deux semestres. La Compagnie dépensait pour elle-même environ 100 chevaux pendant les heures de travail et 50 chevaux pendant les autres. Les pertes totales s'élevaient, comme nous l'avons vu, à 650 chevaux pour chaque jour de l'année. En résumé, on distribuait en moyenne, en étendant ces chiffres à toutes les heures de l'année, une puissance équivalente à une constante de 2 101 chevaux, plus 718 chevaux de perte, soit 2 819 chevaux. Les chaudières produisaient environ 8 kilogrammes de vapeur par kilogramme d'anthracite compté à 16 fr. 25 la tonne, ce qui, à 13 kil. 50 de vapeur par cheval-heure, ramène le cheval-heure, pendant 365 jours consécutifs, à environ 245 francs (1). On évalue pour l'avenir ce prix de vente à 525 francs, ce qui donne, pour les 2100 chevaux distribués sur la moyenne de l'année totale, 1 103 000 francs : les 2 819 chevaux à 245 francs occasionnant une dépense réelle de 690 000 francs, c'est une marge de 407 000 francs. En supposant, comme la pratique l'a démontré, que la perte principale : celle des fuites, resterait constante, on arrivait, sur les mêmes bases, à des excédants de 950 000 et de 1 570 000, pour des distributions maxima de 9 000 et de 16 000 chevaux, cette dernière correspondant à 6 460 chevaux pour chaque

1. Ce prix comprend les frais de la station. A l'époque où M. Emery rédigeait son mémoire, l'anthracite, au quai des docks, coûtait 9 fr. 50 la tonne, l'amenée aux chaudières et l'enlèvement des cendres 2 fr. 25, les mécaniciens et chauffeurs 2 fr. 25, l'eau 0 fr. 85 par tonne de charbon brûlé, de sorte que la dépense totale : charbon brûlé, conduite et entretien des chaudières, eau, etc., ne dépassait pas 15 francs par tonne de charbon brûlé.

jour de l'année, été comme hiver, avec une augmentation de perte de 50 % en prévision de l'effet produit par l'augmentation de la longueur des canalisations.

Ces prévisions furent confirmées par les résultats de l'exploitation qui furent les suivants de 1883 à 1888.

Année finissant le		Recettes	Excédants (1)
30 mai	1883	301,000 fr.	— 29,500
»	» 1884	740,000	+ 90,000
3 avril	1885	935,000	260,000
»	» 1886	936,000	270,000
»	» 1887	1,340,000	435,000
»	» 1888	1,806,000	572,000

On voit que l'accroissement de l'exploitation cessa presque de 1885 à 1886 : cela tient à l'introduction de compteurs destinés à empêcher le gaspillage de la vapeur.

Comme le fait remarquer très justement, M. Emery, l'une des raisons pour lesquelles la vapeur se prête si bien aux transmissions à des distances d'un kilomètre environ, c'est que sa pression est toujours fonction de sa température, de sorte que de la vapeur à une pression donnée est aussi bonne pour le chauffage et la force motrice à un kilomètre de la station centrale qu'au sortir de la chaudière, pourvu, bien entendu, qu'on l'y débarrasse de son eau de condensation. Il suffit donc, pour conserver à la vapeur toute sa puissance motrice en tout point de la distribution, de maintenir à ses extrémités la pression voulue, en tenant compte des pertes de charges admises au projet. A New-York, on calculait les tuyaux pour une perte de charge ou chute de pression maxima de 0 k. 7 en 800 mètres (*).

Calculs des tuyaux. — On employa pour calculer le poids W de vapeur à 5 kilogrammes débitable à l'heure par une conduite de d pouces de diamètre la formule approximative.

$$W \text{ kil. à l'heure} = 45 d^{\frac{5}{2}}$$

qui s'est montrée suffisamment exacte pour la pratique. Dans la conduite principale de Broadway, ainsi calculée, avec une transmission de 4 000 chevaux, la perte de charge à 1 200 mètres n'est que de 0 kil. 14 : comme elle augmente proportionnellement à W^2 , elle serait de 0 kil. 80 pour 8 000 chevaux, de sorte que la perte de charge ne dépassera pas les prévisions quand on aura complété le réseau pour 16 000 chevaux.

1. Différence entre le prix du charbon *compté comme ci-dessus* et les recettes : pour en déduire le bénéfice brut, il faut retrancher de cet excédent les frais d'entretien de la canalisation, les frais administratifs, etc.

2. On consultera utilement à ce sujet le beau travail de M. *Chrétien* sur le transport de la vapeur à de grandes distances et sa canalisation. (Bulletin technologique de la Société des anciens élèves des écoles nationales d'arts et métiers, juillet 1885.)

Coups d'eau. — L'une des difficultés de détail, que l'on rencontre dans toutes les distributions de vapeur, et qu'il est parfois très difficile de tourner, est celle qui provient des coups d'eau produits par la condensation de la vapeur au contact de l'eau de la canalisation. En temps ordinaire, et dans les conduites en pleine activité, les coups d'eau se produisent rarement à New-York, parce que la vitesse de la vapeur y est modérée — 25 mètres par seconde — la purge parfaitement établie, et que les conduites vont presque toujours en pente à partir de la station centrale de manière que les eaux se précipitent naturellement vers les points les plus bas de la canalisation, où elles sont recueillies par les purgeurs. Les quelques parties montantes de la canalisation principale, qu'il a bien fallu admettre pour suivre le niveau des rues, ont été construites le plus inclinées possible, et avec purgeurs au bas. Grâce à ces précautions et au bon isolement de la conduite, les coups d'eau sont très rares en marche normale, quand la canalisation reste constamment sous vapeur. Malheureusement on ne peut pas les éviter complètement dans les conduites que l'on a du laisser refroidir pour une réparation par exemple. Le meilleur moyen d'y parer est, d'après M. Emery, d'ouvrir une purge à l'air libre, principalement au haut des colonnes montantes, et d'y lâcher la vapeur à haute pression jusqu'à ce qu'elle ait projeté par cette purge toute l'eau de mise en train.

Vente aux 1000 calories. — Reste la question de vente de la vapeur aux abonnés. Après bien des tâtonnements, on prit pour unité de vente une unité thermique appelée par M. Emery le *Kal* ⁽¹⁾ c'est à dire la quantité de chaleur nécessaire pour transformer en vapeur à 5 kilogrammes une livre (450 grammes) d'eau prise à 30°, soit environ 625 calories. La vente se fait au compteur, suivant une échelle de prix variable : 70 cents (3 fr. 50) les 1 000 kals pour les petites installations 40 pour les grandes et même 30 cents pour certains journaux et quelques établissements marchant principalement la nuit. Soit 5 fr. 60, 3 fr. 20 et 2 fr. 40 environ les 1 000 calories.

Distribution d'eau surchauffée de Boston ⁽²⁾.

La distribution d'eau surchauffée de Boston a été installée en 1881 d'après le système *Prall* par M. A.-V. Abbot. — L'ensemble et les principaux détails de cette installation ont été décrits par M. Abbot dans une conférence faite le 16

1. On admet aux Etats-Unis qu'une kal de vapeur — ou l'équivalent de 30 livres (13 k. 50) de vapeur à 5 kil. — peut développer un cheval effectif dans une bonne machine de 80 à 120 chevaux. C'est l'origine de cette unité.

2. D'après les mémoires de MM. D. Meier et A.-V. Abbot (*Scientific American supp.*), 25 août et 17 novembre 1888, p. 10559, et 10732. Voir aussi le brevet anglais 11389 du 7 août 1888 à la « *National Heating Co* » de New-York.

novembre 1887 à la *Boston Society of civil Engineers*, et dont nous empruntons le compte rendu ci-joint, du à M. G. Richou, au Génie civil du 12 avril 1890.

Le circuit de production et de retour, ainsi que l'ensemble des appareils de distribution proprement dits, sont représentés dans la figure 213. L'usine centrale, dont la

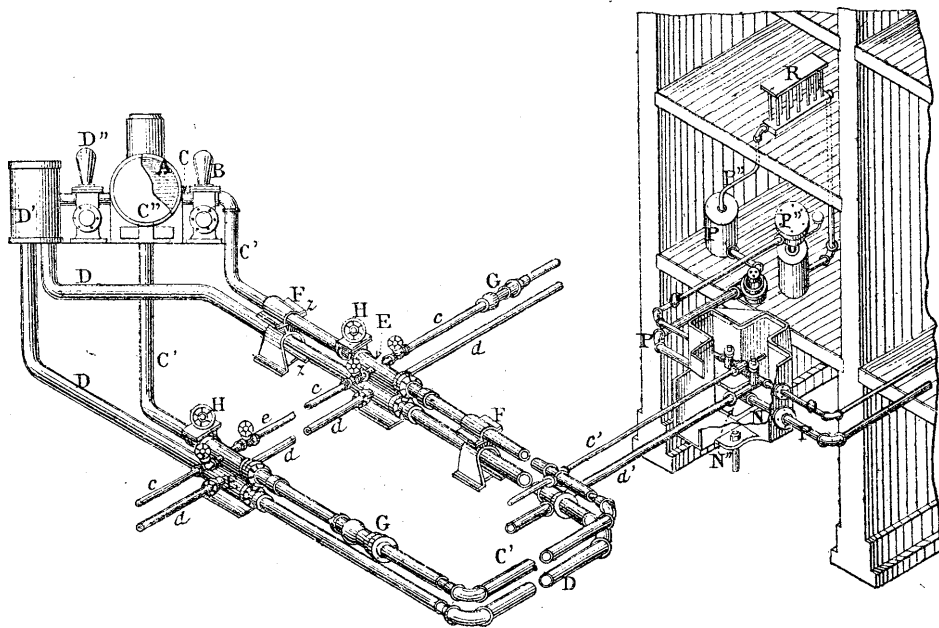


Fig. 213. — Distribution d'eau surchauffée de Boston. Disposition générale A, chaudière. B, pompe de circulation d'eau surchauffée. C, communication entre la chaudière et la pompe. D, conduite de retour d'eau refroidie. D', réservoir d'eau refroidie. E, joint de dilatation. F, supports de la conduite (fig. 215). G, joint de dilatation (fig. 219) à soupape d'arrêt automatique (fig. 220) sur conduite secondaire. H, robinet de décharge. *c d* éléments de la conduite secondaire. *c' d'*, éléments d'un branchement. N, boîte de service. O, tuyau de distribution. P, tuyaux de retour. P' récipient pour le retour de l'eau usée. P'' convertisseur. R, (fig. 223) radiateur.

figure 214 donne les dispositions générales, contient un certain nombre de chaudières A, d'où partent des tuyaux C, aboutissant à des pompes B. Chaque pompe B puise dans la chaudière correspondante, et refoule l'eau surchauffée dans le tuyau C', qui forme la conduite générale, et revient à la chaudière en C''. Au-dessous est établie une seconde conduite D, qui sert au retour de l'eau usée, et aboutit à un réservoir D, d'où une pompe D'' la puise pour l'alimentation de la chaudière A. On dispose autant que possible la conduite de retour de manière que sa pente amène naturellement les eaux à la station centrale. D'ailleurs, l'évacuation aux différents étages crée une chute qui favorise l'écoulement dans ce sens.

La conduite C a un diamètre de 100 millimètres, afin de réduire dans la mesure du possible les pertes par rayonnement, qui augmenteraient le coût d'exploitation dans une proportion bien plus forte que ne le fait l'accroissement dans les frottements dû à ce faible diamètre. Pour la conduite de retour D, qui n'est pas exposée au même inconvénient, on a adopté le diamètre de 200 millimètres.

$b' b$ et $c' c$ sur chaque tuyau respectivement. Il n'y a que le fond des filets qui présente ce profil; leur face supérieure est taillée sur la surface même du cylindre. Cette disposition a pour objet d'obvier à la diminution de résistance qui résulte du

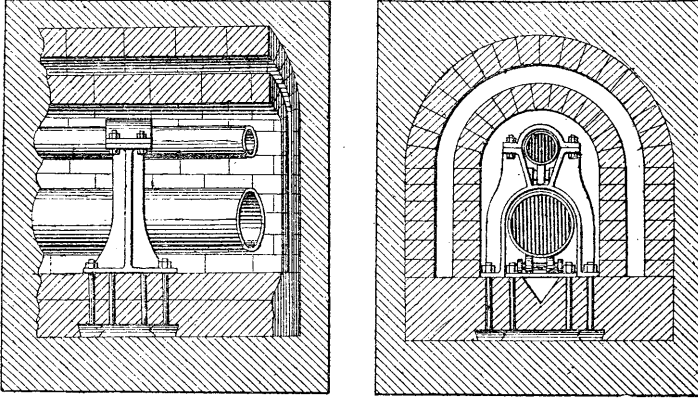


Fig. 216 et 217. — Coupe longitudinale et transversale d'un caniveau.

filetage. Ces joints résistent, sans présenter la moindre fuite, à des pressions de 100 atmosphères. Ils servent également à poser les branchements, et portent à cet effet des renflements sur leur face transversale (non représentés dans la figure 218) (1).

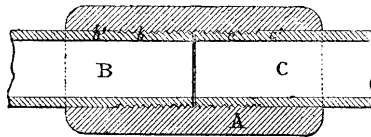


Fig. 218. — Joint ordinaire.

Les joints de dilatation (fig. 219) se composent d'une forte pièce de fonte présentant deux boîtes longitudinales où viennent aboutir les extrémités des conduites C et D. Elles sont vissées sur l'une de ces boîtes E' comme dans un manchon de joint

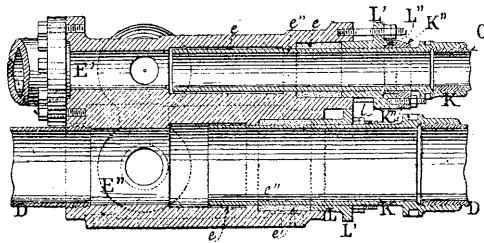


Fig. 219. — Joint de dilatation.

ordinaire. L'autre boîte, d'un diamètre plus fort que la première, reçoit deux manchons en bronze phosphoreux K. Ceux-ci forment la partie mobile du joint e' et après y avoir été introduits, ils y sont entourés d'une garniture en fibres

1. Ces joints sont très usités aux États-Unis, on en trouvera la formule détaillée dans le mémoire de Briggs « *On Warming Buildings by Steam* ». Inst. civ. Eng. London, 28 nov. 1882, p. 7.

d'amiante imprégnées de minium. Le chapeau L est serré à fond comme dans les presse-étoupes ordinaires. La conduite vient se visser sur le bout extérieur C du manchon en bronze phosphoreux, dont le déplacement lui permet de se prêter à toutes les variations de température, et est parfaitement guidé par le presse-étoupes ainsi que par une bague correspondante *e* placée à l'intérieur du joint, et un renflement *e''*, qui forme le fond du presse-étoupes. Le déplacement possible pour la conduite d'eau surchauffée est de 0^m,30, et pour l'autre de 0^m,20. Ces joints étant placés tous les 30 ou tous les 45 mètres, et la dilatation maximum à laquelle ils doivent pourvoir ne dépassant pas 0^m,10 à 0^m,15, on voit que la marge laissée pour l'imprévu est amplement suffisante.

Chaque joint est fortement boulonné sur la maçonnerie de fondation, de manière à former un ancrage pour celle des extrémités du tuyau qui lui est vissée, et, par suite, la dilatation ne peut s'opérer que dans un seul sens.

L'essai d'un joint de ce genre a été fait sous une pression de 32 atmosphères : on avait fixé à l'extrémité mobile un levier qui permettait de faire mouvoir le manchon en bronze dans les deux sens, de manière à reproduire artificiellement les dilatations et les contractions successives auxquelles il devait se trouver exposé dans la pratique. A la fin de cet essai, le joint n'a point donné trace de fuite.

Tous les joints de dilatation sont surmontés d'un trou d'homme, pour qu'on puisse aisément les réparer. Dans le même but, ils portent latéralement sur leur partie fixe, un robinet suivi d'un tuyau de décharge, pourvu lui-même d'un autre robinet. Quand il deviendra nécessaire de refaire les garnitures, on fermera les robinets de deux joints consécutifs et on fera écouler l'eau contenue dans la section par le tuyau de décharge qui aboutit à un caniveau général, puis on lancera, dans la section ainsi coupée, un courant d'air pour refroidir le joint et permettre aux ouvriers de le réparer.

Pour empêcher la conduite de se vider entièrement en cas de rupture sur un point quelconque, tous les joints de dilatation sont munis d'une soupape d'arrêt à fonctionnement automatique, du type indiqué dans la figure 220. Elle se compose d'une

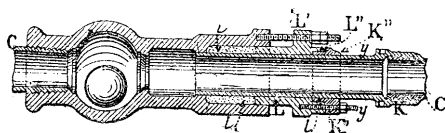


Fig. 220. — Soupape d'arrêt automatique.

cavité sphérique sur laquelle vient se visser le bout chanfreiné de la conduite C. Le boulet repose sur des nervures intérieures de la chambre et y demeure tant que l'écoulement de l'eau se produit dans les conditions normales. S'il arrive une rupture, la pression de l'eau pousse le boulet sur son siège et l'y maintient. En en faisant varier le poids, on peut être assuré du fonctionnement aux diverses vitesses d'écoulement compatibles avec les besoins de l'exploitation. Les soupapes étant distantes les unes des autres de 30 à 45 mètres, comme les joints de dilatation, on voit qu'en cas de rupture, les fuites seraient réduites à un volume insignifiant, 5 à 600 litres environ. Les caniveaux présentent un volume assez grand pour qu'une décharge de pareille quantité d'eau et la vapeur à laquelle elle donnerait naissance ne causent pas de sérieux dommages.

La conduite principale est du type extra-fort, dont la rupture se produit sous un effort de 850 kilogrammes par centimètre carré. Tous les tuyaux mis en service sont essayés à 280 kilogrammes ; puis, quand toute la conduite est posée, chacune des sections, c'est-à-dire l'espace compris entre deux joints de dilatation, est essayée à une pression de 105 kilogrammes. Le même essai a été fait en dernier lieu sur

l'ensemble des sections depuis le départ de la chaudière jusqu'au retour. En service, l'eau est chauffée à 205°, température qui correspond à une pression absolue de 17,5 kilogrammes par centimètre carré. La vitesse de circulation dans la conduite principale doit varier de 1^m,50 à 3 mètres, suivant les besoins de la consommation.

Nous arrivons maintenant aux appareils de distribution proprement dits, indiqués sommairement dans la figure 213 et d'une manière plus détaillée dans les figures 222 et 223.

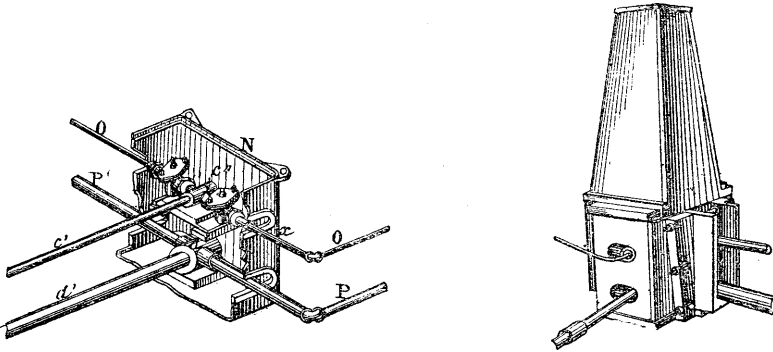


Fig. 221 et 222. — Intérieur et élévation d'une boîte de service à l'entrée d'une maison.

Les tuyaux de distribution *c'* (fig. 213 et 222) sont rangés, comme nous l'avons dit, sur les divers joints de la conduite principale. Ces tuyaux sont en cuivre rouge. Leur diamètre, pour les habitations privées, est de 6 millimètres, et de 9 millimètres à 12^{mm},5 pour les bâtiments industriels. Lorsqu'ils doivent alimenter une machine de plus de 25 chevaux, leur diamètre est porté à 15 ou à 18 millimètres. Ils sont essayés sous une pression de 42 atmosphères. Ces petits tubes, grâce à leur faible diamètre et à l'élasticité du métal, se prêtent aisément à prendre toutes les courbures nécessaires, et réduisent au minimum possible le nombre des joints.

Le tuyau de prise *c'* aboutit dans une boîte de service *N* en yellow-pine créosoté, disposée de manière à pouvoir desservir trois immeubles accolés. A cet effet, il se termine par un *T*, sur lequel sont posés trois robinets à garniture d'amiante, commandant chacun un tuyau secondaire *o*. Le tuyau *c'* en surmonte un autre *d'* pour le retour de l'eau froide dans la conduite générale *D*. Ce second tuyau *d'*, passe aussi par la boîte de service *N*, et, grâce à une disposition analogue à la précédente il peut recevoir les eaux usées des trois immeubles desservis; elles lui sont amenées par les tuyaux *P*.

Pour le chauffage dans les maisons, on emploie deux procédés : ou bien on substitue aux calorifères en usage un *radiateur*, sorte de serpentín à tubes verticaux, autour desquels vient se réchauffer l'air qu'on introduit dans les diverses pièces par des bouches de chaleur; ou, si l'édifice a déjà été approprié pour un chauffage par distribution de vapeur, on emploie un appareil spécial, appelé *convertisseur* (fig. 223). C'est un récipient en tôle analogue aux dômes de chaudières. Le tuyau de distribution *A* venant de la conduite principale, y pénètre par un détendeur *B*, qui absorbe une partie de la pression à laquelle est soumise l'eau surchauffée; celle-ci, s'écoulant dans un grand volume, se réduit en vapeur qu'un tuyau supérieur *P* conduit dans le réseau de distribution. Un manomètre permet de constater la pression

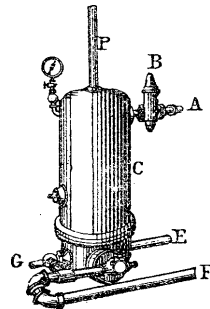


Fig. 223. — Convertisseur.

du fluide dans le récipient et de régler le détendeur B en conséquence. A la partie inférieur du convertisseur, sont branchés deux tuyaux E et F, le premier amenant à l'appareil les eaux de condensation des radiateurs, le second, l'eau usée à la conduite générale de retour. Ce dernier est commandé par un flotteur qui détermine l'écoulement de l'eau usée lorsque sa proportion devient trop forte. Une soupape de sûreté G expulse l'eau par le tuyau de retour F, si l'action du détendeur est insuffisante.

Lorsque le convertisseur doit alimenter un moteur, il présente les mêmes dispositions générales, en augmentant toutefois son volume de manière qu'il puisse suffire à l'alimentation prévue. M. Abbot estime que, pour avoir toute sécurité à cet égard, le convertisseur doit avoir au moins dix fois le volume du ou des cylindres.

Si, comme le cas se présente fréquemment, le convertisseur doit à la fois servir au chauffage et alimenter un moteur, on emploie deux détendeurs disposés de la manière suivante : l'eau surchauffée arrive dans un premier convertisseur où elle se réduit partiellement en vapeur destinée à l'alimentation ; de là elle s'écoule par l'action du flotteur dans un tuyau muni du second détendeur, qui l'amène dans un autre convertisseur, où elle donne le reste de vapeur dont elle est susceptible, et qui est directement employée au chauffage. On peut ainsi utiliser une plus grande quantité de chaleur en renvoyant l'eau plus froide à la station centrale.

M. Abbot n'indique pas la méthode employée pour l'estimation de la fourniture de chaleur. Il est peu probable que le comptage soit opéré d'une manière directe, c'est-à-dire en mesurant la quantité d'eau fournie à chaque consommateur et en la multipliant par la chute de chaleur. Un tel système semble impraticable si l'on considère la très faible quantité d'eau surchauffée qui passe dans les tuyaux de distribution, sa haute température et la difficulté d'évaluer pratiquement et sans conteste le second élément du calcul. On a sans doute procédé par approximation et à forfait, quitte à modifier ultérieurement les tarifs.

La station centrale de Boston et sa conduite principale ont été terminées et prêtes à fonctionner, au milieu du mois de décembre 1888. La conduite, après avoir subi les essais dont nous avons parlé, a été tout d'abord soumise à une circulation d'eau ordinaire envoyée par la pompe pendant deux jours pour la débarrasser des graisses, des débris et impuretés de toute nature. Puis on l'a mis en communication avec une batterie de chaudières de 200 chevaux, sous lesquelles on avait allumé un léger feu de bois pour chauffer graduellement l'eau qu'elles contenaient. On maintenait en même temps la circulation dans l'ensemble de la conduite, pour y envoyer l'eau des chaudières à mesure qu'elle s'échauffait, de manière à porter peu à peu tout le réseau à la température voulue.

Cette opération a duré dix jours pour chauffer le réseau à 190 degrés environ. Pendant ce temps, on a également procédé à l'examen répété de tous les joints et notamment de ceux de dilation. Les résultats ont, paraît-il, été excellents, et il ne s'est produit aucune fuite. On a alors envoyé dans la conduite une dissolution de potasse pour enlever les matières grasses et le minium, de manière à n'avoir que de l'eau propre dans les conduites. Ce nettoyage a duré trois jours, après quoi on a remplacé la dissolution de potasse par de l'eau propre surchauffée. Celle-ci a, de même, été remplacée, jusqu'à ce que l'eau nouvelle introduite n'ait plus donné trace de potasse ou de matières grasses.

On a pu alors envoyer l'eau surchauffée dans les branchements. Dès le début (février 1888), la Compagnie a eu à desservir vingt-cinq grands corps de bâtiments et un certain nombre de moteurs. Nous ignorons quelle est actuellement l'importance de son exploitation.

D'après le mémoire que nous venons d'analyser, le service fonctionnerait dans des conditions très satisfaisantes. Des expériences sur les pertes par rayonnement ont montré que la vapeur fournie est très sèche. L'auteur indique, en effet, qu'une ma-

chine motrice reçoit sa vapeur à l'aide d'une conduite distante de 18 mètres du convertisseur sans qu'on ait eu aucun coup d'eau dans les cylindres.

Le prix de premier établissement doit être fort élevé, en raison du nombre considérable de « sections » nécessitées par les conditions de sécurité que la Compagnie s'est imposées, mais le mémoire de M. Abbot ne contient aucun chiffre qui permette de s'en rendre compte. Il y aurait également intérêt à connaître les tarifs de fourniture de la chaleur sous ses différents modes d'application, soit pour le chauffage, soit pour la force motrice. L'époque peu avancée de l'exploitation à laquelle se rapporte le mémoire en question n'a pas, sans doute, permis de donner ces renseignements à titre définitif.

Nous allons maintenant tenter de comparer, autant que nous le pouvons d'après les données fournies par MM. Abbot et Emery, les mérites respectifs des distributions de vapeur et d'eau surchauffée.

La défense de l'eau surchauffée a été présentée très habilement par M. Abbot dans son mémoire précité, devant la Société des ingénieurs civils de Boston. L'économie de la canalisation — qui est la plus grande dépense du système à vapeur ou à eau — exige que l'on diminue le plus possible, à calories ou à puissances égales distribuées, le volume de l'agent calorifique, c'est-à-dire, que cet agent possède la capacité calorifique la plus grande possible, et que la température s'abaisse le plus possible dans le récepteur : machine motrice ou radiateur, qui l'utilise.

Ceci posé, comme la chaleur d'un litre d'eau à 200°, ou à 14 atmosphères, est de 200 calories, tandis que celle du litre de vapeur à la même pression n'est que de 4 calories 7, on voit que la vapeur possède, à volume égal, une puissance calorifique bien moindre que celle de l'eau : en tombant de 200° à 100° le litre d'eau pourra céder 100 calories et le litre de vapeur 4 calories 3 seulement. On voit que l'on pourra, dans le système à eau surchauffée, transporter ou distribuer avec des tuyaux beaucoup plus petits une puissance calorifique ou motrice plus grande qu'avec la vapeur. D'après M. Abbot, dans les cas les plus défavorables de son installation, l'eau rendrait environ 14 fois plus de calories que la vapeur à volume égal. D'autre part, comme la densité de l'eau à 200° est égale à près de 140 fois celle de la vapeur, et que le débit d'un tuyau varie — en volume — en raison inverse des racines carrées des densités des fluides qui le traversent, la même conduite débitera, toutes choses égales, 10 à 12 fois plus de vapeur que d'eau ; mais, pour fournir la même quantité de chaleur, la vitesse d'écoulement de la vapeur devrait être 14 fois celle de l'eau, et sa charge, qui augmente comme le cube des vitesses, devrait être égale à $\left(\frac{14}{11}\right)^3 = 2$ fois et demie environ celle de l'eau. Prenant cette charge, ou la puissance nécessaire pour assurer la circulation du réseau comme criterium de son économie, M. Abbot en conclut que la distribution par eau surchauffée est, comme transportation, environ 2 fois 1/2 plus économique que la distribution par vapeur.

Mais ce n'est pas là le seul ni même le principal élément de dépense et de comparaison. Dans le système à haute pression par eau surchauffée, il faut une ca-

nalisation de retours plus grosse, plus solide et deux fois plus longue que celle de la distribution de vapeur : c'est la double canalisation désignée en C'. D. D. sur la figure 213. En outre, tandis, qu'avec la canalisation de vapeur, le retour d'eau s'effectue naturellement, dans la distribution d'eau surchauffée, la majeure partie de l'eau de retour doit-être reprise en D à la pression atmosphérique et refoulée dans la chaudière par des pompes D''. En l'absence de données positives et numériques sur l'exploitation de Boston, nous ne pouvons que présenter ces diverses considérations pour et contre deux systèmes, qui pourraient bien s'équivaloir à très peu près dans la pratique. Je ferai seulement remarquer qu'il serait imprudent de tirer, en cette circonstance, argument, pour ou contre le système de Boston, de la pratique des chauffages à eau chaude par calorifères particuliers, où la circulation, entièrement fermée et sous des différences de pression relativement insignifiantes, s'effectue dans des conditions tout autres que pour un réseau comme celui de Boston.

Moteurs à vapeur.

La machine à vapeur ne sera véritablement domestique, c'est-à-dire employée couramment dans l'industrie en chambre comme le moteur à gaz, à air comprimé, ou comme la dynamo, que du jour, peu probable en Europe du moins, où quelques villes importantes seront pourvues de distributions de vapeur ou d'eau surchauffée.

Néanmoins, dans bien des cas où l'on ne dispose ni d'électricité ni d'air comprimé ni de gaz à un prix raisonnable, une petite machine à vapeur d'un demi cheval à deux chevaux, simples, peu encombrante et pratiquement sans danger, peut rendre de grands services. — En France, bien qu'entreprise par d'excellents constructeurs et de très habiles commerçants — il suffit de citer M. H. Fontaine en 1872, — ces machines se sont encore peu répandues : arrêtées souvent par des difficultés administratives inconnues à l'étranger ; mais il n'en est pas de même en Autriche, en Angleterre et aux États-Unis surtout, où l'on en compte un grand nombre de différents systèmes.

La plupart de ces machines ne sont guère que des réductions de la machine à vapeur ordinaire, dont elles ne se distinguent que par une simplification rationnelle des organes mécaniques, qui doivent être très bien ajustés et parfaitement interchangeables ⁽¹⁾ et par quelques détails de la chaudière et du retour de vapeur, disposés souvent de manière que la machine fonctionne avec le moins de perte d'eau possible.

1. Comme dans la machine américaine de *Baxter* par exemple.

bas D_2 du serpentin en fer. La condensation s'opère, comme l'indique les diagrammes fig. 229, sans vide, sous la pression atmosphérique. La pompe alimentaire

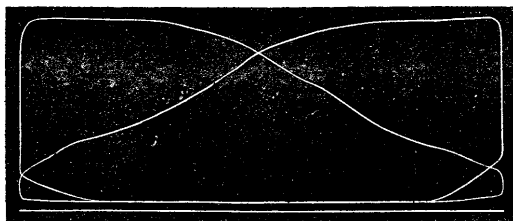


Fig. 226. — Diagramme d'un moteur Bashall de 3 chevaux à 180 tours.

prend l'eau à 95° environ dans un réservoir d'alimentation, et la refoule au travers d'un joint au plomb destiné à prévenir toute surchauffe dangereuse. Cette sur-

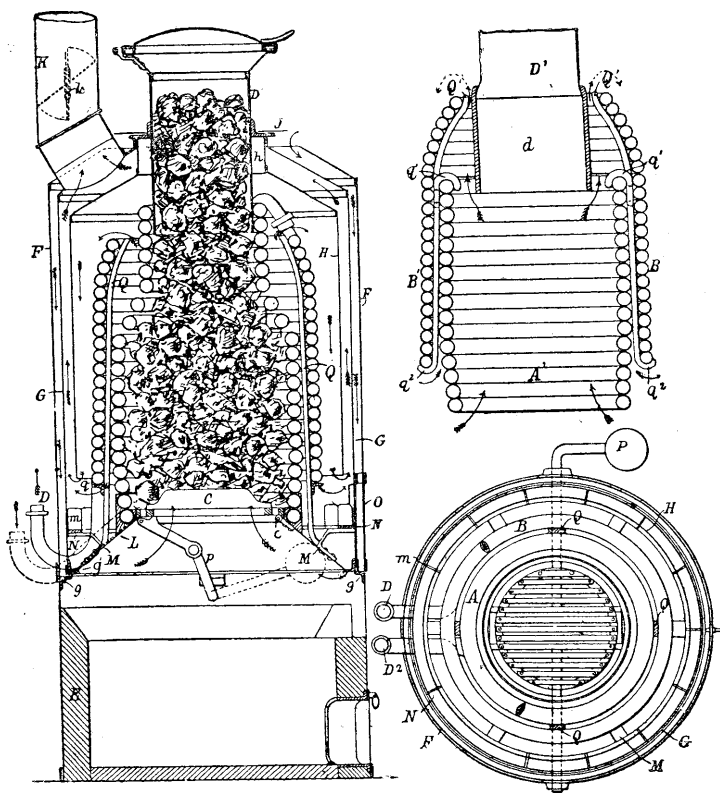


Fig. 227, 228 et 229. — Chaudière du moteur Bashall. $D D' d$ trémie de chargement soutenue par la bride J . C grille soutenue par le levier $L p$, à contrepoids P .

A , serpentin intérieur en fer, renfermant le foyer et recevant en D_2 l'eau d'alimentation. B , serpentin extérieur en cuivre, relié au premier, maintenu par la carcasse Qq , et amenant, par D , la vapeur de la chaudière. F , enveloppe extérieure amenant en g , au dessous de la grille, l'air nécessaire à la combustion. G , enveloppe intérieure évacuant à la cheminée K une partie des gaz du foyer, dont l'autre partie va directement à la cheminée.

chauffe n'est d'ailleurs pas à craindre, parce que le moteur, qui marche à vapeur humide, renvoie toujours à la chaudière plus d'eau qu'elle n'en vaporise ; mais, dans le cas où le joint de sûreté fondrait, un coup du levier L suffit pour faire immédiatement tomber le feu dans le cendrier. La mise en feu dure environ un quart-d'heure. Ainsi qu'on le voit, le foyer, entièrement fermé, n'occasionne aucun danger d'incendie.

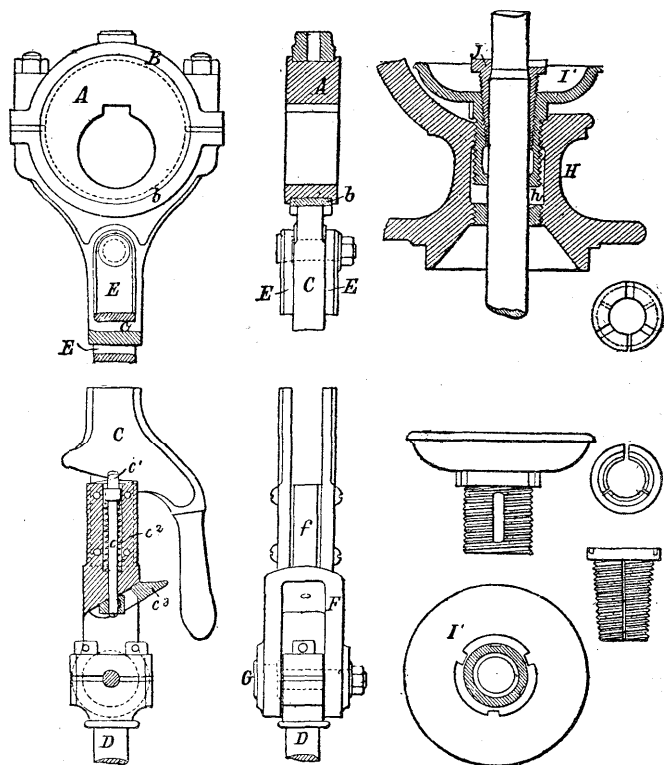


Fig. 230. — Détails de la machine Bashall, commande de la pompe alimentaire et stuffing box du cylindre moteur.

A, excentrique dont le colier inférieur *b* est d'une seule pièce avec le levier C. EE, bielles articulées à *b* et attaquant par FG la tige D de la pompe alimentaire de manière à la faire marcher quand le talon de C est enclanché par *c c'*. Il suffit de déclancher C par *c₃* pour s'en servir comme d'un levier permettant d'alimenter à la main.

H, stuffing box. I, garniture extérieure, à évidements disposés de manière à éviter le coincement. J, garniture intérieure conique fendue pour le serrage.

Les fig. 230 représentent quelques détails intéressants du moteur.

La pompe alimentaire est mue, en marche normale par un excentrique dont le collier inférieur *b* est solidaire du levier C, relié aux bielles EE de la pompe par le cliquet *c'* de son talon. Lorsqu'on veut alimenter à la main, pour la mise en train, on déclanche ce cliquet, et l'on pompe avec le levier C, pivotant autour de l'excentrique A, et menant la pompe par les bielles E. E.

La garniture de la tige du piston moteur est serrée par un cône en bronze J, fendu de manière à pouvoir, en s'enfonçant, serrer la tige et rattrapper les jeux. Le boisseau extérieur I a son filet coupé longitudinalement en plusieurs pans, de manière à racler comme un taraud le cambouis de son écrou.

Une machine de ce genre, de 3 chevaux, à double effet, tournant à 150 tours, avec une pression de 5 kil. 80 à la chaudière aurait, d'après l'*Engineering* du 1^{er} avril 1887, développé 4 chevaux 13 indiqués et 3 chevaux 22 au frein — rendement organique 77.2 % — avec une dépense de 3 kil. 25 de charbon par cheval effectif. Cette consommation déjà faible aurait été diminuée si on avait disposé d'un frein assez puissant pour faire développer à la machine sa force normale, en marchant à 180, tours avec une pression de 10 atmosphères.

La machine une fois en train n'exige pas d'autres soins que le chargement du foyer toutes les heures.

Automoteur Piffre.

Le condenseur du petit " automoteur " de M. Piffre, représenté par les fig. 231 et 232, consiste en un simple tube G, traversé par le tuyau d'échappement, et dont

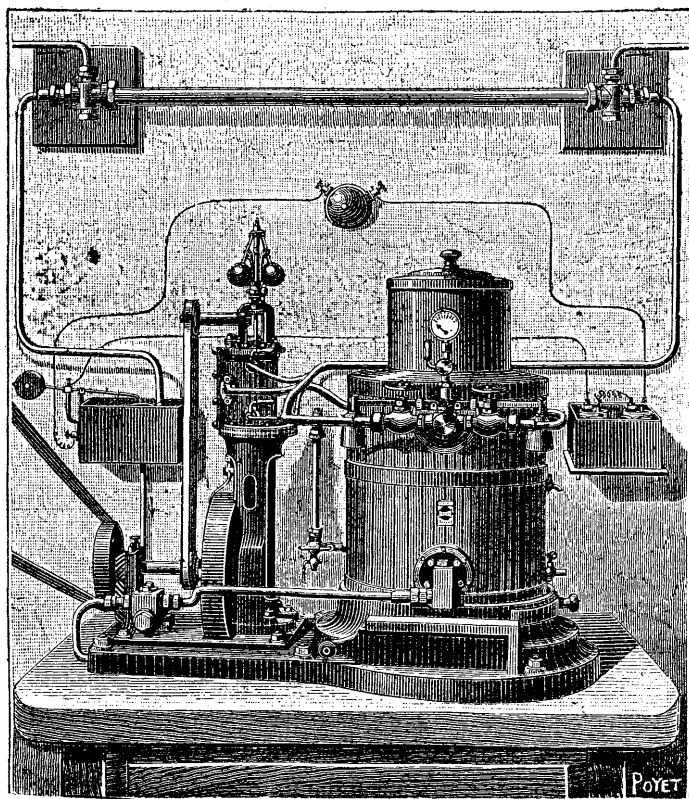


Fig. 231. — Automoteur Piffre. Ensemble.

l'espace annulaire est parcouru par une circulation d'eau de la ville. L'eau condensée, recueillie en K, est refoulée par une pompe L dans la chaudière. Dès que le niveau baisse en K, on est averti du danger par une sonnerie électrique.

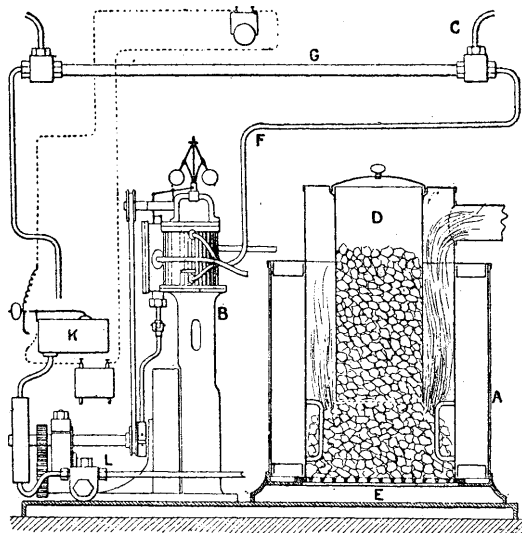


Fig. 232.—*Automoteur Piffre*. B, moteur envoyant par F son échappement dans l'espace annulaire d'un double tube G, parcouru par une circulation d'eau C. K, bêche recevant la vapeur condensée en G, et pourvue d'un flotteur avertisseur à sonnerie électrique. L, pompe refoulant dans la chaudière A l'eau de K. D, chargement du foyer-gazogène E de la chaudière.

L'automoteur représenté par la fig. 231, de 1/4 de cheval, pèse 350 kilogrammes et n'occupe que $1^m \times 0^m60 \times 0^m70$ de haut (1).

Moteur Friedrich.

La machine de MM. *Friedrich et Jaffé*, construite par MM. *Perrin-Panhard et Levassor* à Paris, se distingue par quelques particularités intéressantes, qui lui ont déjà valu de nombreux succès. Nous en empruntons la description au "*Portefeuille économique des Machines*" de juin 1886.

L'ensemble du moteur et de sa chaudière est compact, toutes les parties en sont facilement accessibles et démontables. La chaudière ne comporte pas de rivures. La vapeur utilisée est condensée et l'eau ainsi obtenue sert à l'alimentation.

La chaudière de deux chevaux représentée par les figures 233-240 a une forme rectangulaire, elle est fixée sur un socle en fonte dans lequel est disposé le foyer garni en briques.

La grille est fortement inclinée vers l'autel qui est formé d'un rang de briques

1. *La Nature*, 15 août 1885.

réfractaires appuyé contre une armature pleine en fonte. Une trémie A, fermée par un couvercle à charnière, reçoit une provision de combustible qui descend sur la grille au fur et à mesure que la combustion s'effectue. On chauffe soit au coke,

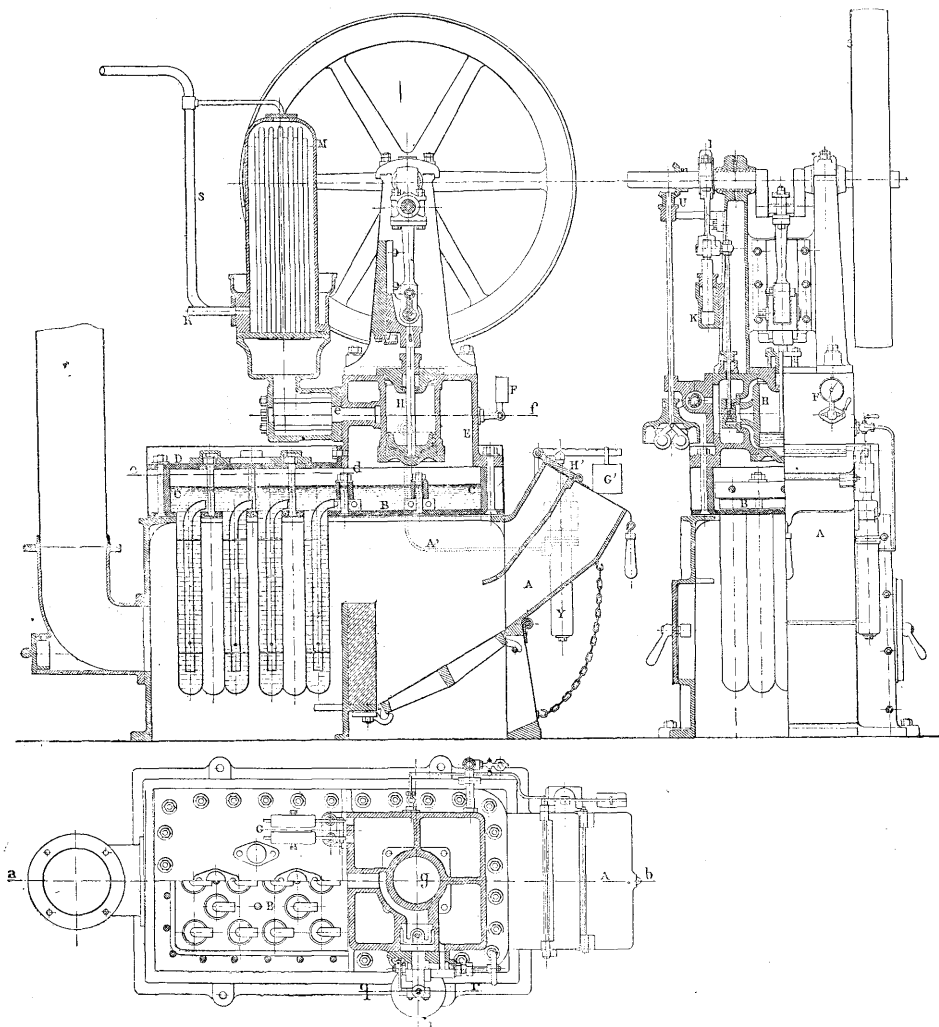


Fig. 233, 234 et 235. — Moteur Friedrich de 2 chevaux, coupes verticales *ab* et *gh*, coupe horizontale *cd ef*. (Echelle $\frac{1}{20}$)

A, trémie de chargement à tirage réglé par le système A' H'G (fig. 241). B, chaudière à tubes Field, supportés par le fond supérieur D boulonné sur le cadre à joint d'amiante C. E dôme de vapeur venu de fonte avec le cylindre moteur H. E M condenseurs à surfaces (fig. 236). K, pompe alimentaire. u, commande du régulateur (fig. 239). F, manomètre.

soit à la houille maigre; dans le second cas, un commencement de distillation se produit à la base de la trémie,

Le cendrier est muni d'un volet en tôle permettant de faire varier le tirage. Une

cheminée, pourvue à sa partie inférieure d'un tampon de ramonage, emporte au dehors les produits de la combustion.

La partie active de la chaudière est formée par un faisceau de seize tubes à circulation, dits tubes Field de 470 millimètres de longueur utile et de 70 millimètres de diamètre. Ces tubes sont emmanchés dans une plaque horizontale en acier B. Un cadre en fer C supporte la plaque supérieure en acier D et le dôme de vapeur E venu de fonte avec le cylindre. Le tout est solidement relié par des boulons à tête fraisée.

Les tubes, en fer soudés à recouvrement, ont 3 millimètres d'épaisseur, les tubes intérieurs sont minces et se recourbent à leur partie supérieure; le centrage de ces tubes dans les tubes de vaporisation est assuré par des goupilles en croix placées près des deux extrémités du tube intérieur. La surface de chauffe tubulaire est de 1,65 mètres carrés.

Pour nettoyer la chaudière et les tubes, il suffit d'enlever la plaque D. Le joint de cette plaque sur le châssis est fait avec une bande étroite de carton d'amiante trempée dans l'huile de lin. La chaudière est pourvue des appareils de sûreté réglementaires.

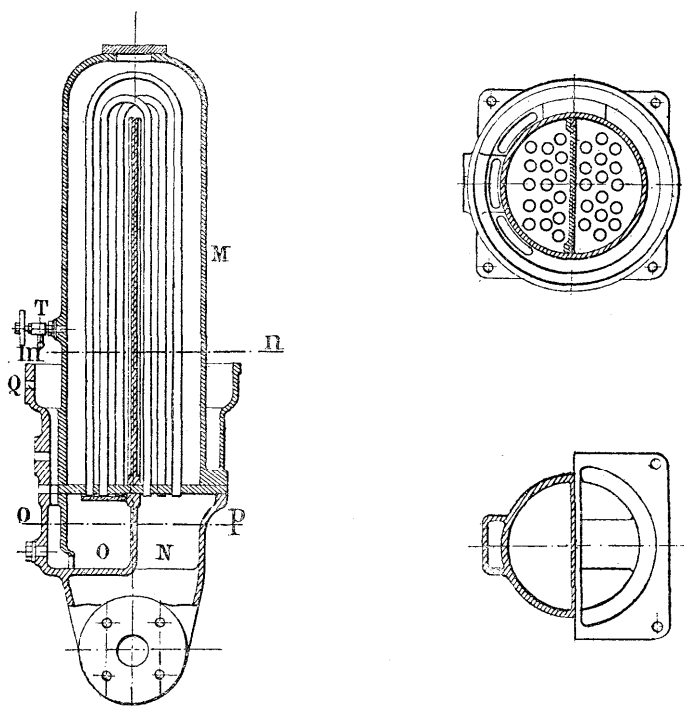


Fig. 236, 237 et 238. — Condenseur à surfaces, coupes *ik mn* et *op*. (Echelle $\frac{1}{5}$)

M, tubes en U recevant la vapeur d'échappement de *e* (fig. 233) en N, et envoyant l'eau condensée en O, d'où elle est prise par la pompe alimentaire. R, (fig. 233) entrée, S sortie de l'eau de circulation autour des tubes M. T, tuyau que l'on ouvre pour purger l'eau condensée de ses matières grasses, qui surnagent et se décantent par Q.

Le moteur est vertical. La tête de piston est guidée par une seule glissière. La bielle attaque le coude de l'arbre principal sur lequel est calée une poulie-volant.

La glissière et les deux paliers de l'arbre sont fixés sur un bâti à deux flasques boulonné sur le dôme de la chaudière.

Un excentrique I actionne par sa barre la pompe alimentaire K et le tiroir à coquille de la distribution.

La vapeur d'échappement se rend dans un condenseur vertical M (fig. 236). Ce condenseur est séparé sur presque toute sa hauteur en deux chambres par une cloison en fonte. Les tubes sont en forme de fer à cheval, l'une de leurs extrémités reçoit la vapeur dans l'un des compartiments M et l'autre bout déverse la vapeur condensée dans le second compartiment O. Les matières grasses provenant de la lubrification du cylindre montent à la surface de la vapeur condensée et sont expulsées par des purges faites au moyen d'un robinet placé en Q.

L'eau pour la condensation arrive dans l'enveloppe M par le tuyau R et en ressort par celui S (fig. 233). Pour remplacer les pertes dues aux fuites de vapeur et

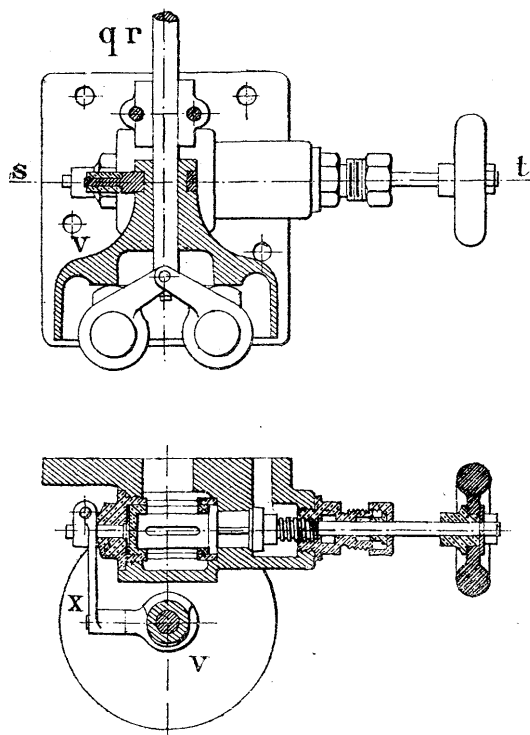


Fig. 239 et 240. — Moteur Friedrich, détail du régulateur. (Echelle $\frac{1}{5}$), coupes *qr* et *st*.

aux purges pratiquées pour expulser les matières grasses, on laisse couler un peu d'eau du condenseur par le robinet T dans le récipient O de vapeur condensée (fig. 236). La pompe alimentaire puise dans ce récipient pour refouler l'eau dans la chaudière. Les tubes du condenseur sont en laiton, ils ont 12 millimètres de diamètre et 0,75 millimètres d'épaisseur. La surface refroidissante est 0,70 mètres carrés.

Une paire d'engrenages coniques U (fig. 235) transmet le mouvement de l'arbre moteur à un régulateur à force centrifuge, représenté en détail par les figures 239 et 240. Lorsque la vitesse de la machine, devenue trop grande, écarte les boules de la

verticale, celles-ci soulèvent la cloche en fonte V, folle sur la tige du régulateur. En montant, la cloche V réduit l'ouverture de l'obturateur cylindrique de prise de vapeur auquel elle est reliée par la manette X. Lorsque les boules retombent, l'effet inverse se produit et la section de l'arrivée de la vapeur dans la boîte du tiroir est augmentée.

En vue de modérer la combustion suivant les besoins variables de vapeur, l'inventeur a disposé un régulateur de combustion Y (fig. 233) destiné à amener de l'air froid dans le foyer et à abaisser ainsi la température. Ce régulateur est représenté en détail (fig. 241). Un cylindre vertical Z est mis en communication avec la boîte à vapeur par une petite tubulure A'. Au haut de ce cylindre est disposé un clapet B' dont la tige porte un poids C' logé très librement dans le cylindre Z. Lorsque la pression de la vapeur est trop forte, le clapet B' se soulève en élevant le poids C'; la vapeur passe alors dans le cylindre E'. Le piston F' monte, ainsi que sa tige qui porte sur sa tête un fléau articulé chargé d'un contrepoids G' (fig. 233). Le fléau, en s'élevant, ouvre la porte H' du compartiment voisin de la trémie du foyer. L'air froid passe par l'ouverture ainsi démasquée et se rend dans le foyer. Lorsque la pression diminue, la soupape B' retombe sur son siège sous l'action du poids C'; la vapeur du cylindre E' s'écoule par le petit trou D', le piston F' descend, et la porte H' se ferme.

La position du contrepoids G' sur le fléau est choisie de manière à ce que le piston F' ne puisse pas se soulever aussitôt que le clapet B' se lève. Si ce clapet ne reste pas assez longtemps levé, la vapeur s'écoule par l'orifice D' avec une vitesse suffisante pour ne pas soulever le piston F'. On évite ainsi de provoquer des rentrées d'air froid dans le foyer par des variations de peu de durée dans la pression de la vapeur.

Pour le moteur de 2 chevaux, le diamètre du cylindre est de 135 millimètres, et la course du piston 140 millimètres. La vitesse de régime est de 120 tours par minute.

Les constructeurs établissent ce système de moteur sur sept types, de 1 à 15 chevaux.

A partir de 4 chevaux, le moteur est muni d'une détente variable par le régulateur.

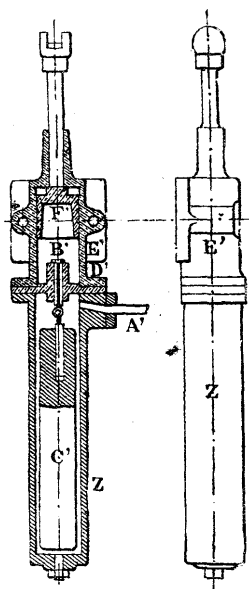


Fig. 241 et 242. Moteur Friedrich. Régulateur du foyer. (Échelle $\frac{1}{5}$).

z, cylindre que l'on voit représenté en Y sur la figure 233, et communiquant par A' avec la vapeur de la chaudière. B', soupape chargée d'un poids C' : quand la pression est trop forte, cette soupape s'ouvre, et la vapeur, passant de z en E', soulève le piston, F' qui ouvre la porte G' (fig. 233) de manière à admettre un excès d'air froid au foyer par dessus le charbon, en A. G', contrepoids chargeant le piston F' et réglant sa sensibilité.

Moteur Flurscheim et Bergmann.

La machine de MM. *Flurscheim* et *Bergmann* est à simple effet. Le foyer de sa chaudière, très simple et très active, s'alimente comme celui d'un poêle mobile. — Nous en empruntons la description suivante à la "*Chronique industrielle*" du 6 janvier 1889.

Le nombre déjà si grand des chaudières à vapeur, tubulaires et autres, vient encore de s'augmenter d'un système particulier imaginé par MM. Flurschein et Bergmann, de Gaggenau. Cette chaudière tubulaire est à foyer central, et le chargement du combustible se fait comme pour les poêles mobiles. Elle est munie d'appareils spéciaux réglant automatiquement le niveau de l'eau et le tirage de la cheminée.

Les tuyaux *a*, du système tubulaire, sont (fig. 243-246) fixés à paroi *A* de la chaudière et disposés presque horizontalement; ils possèdent intérieurement des tubes *b*, maintenus par la plaque *c*, et produisant la circulation de l'eau suivant la direction

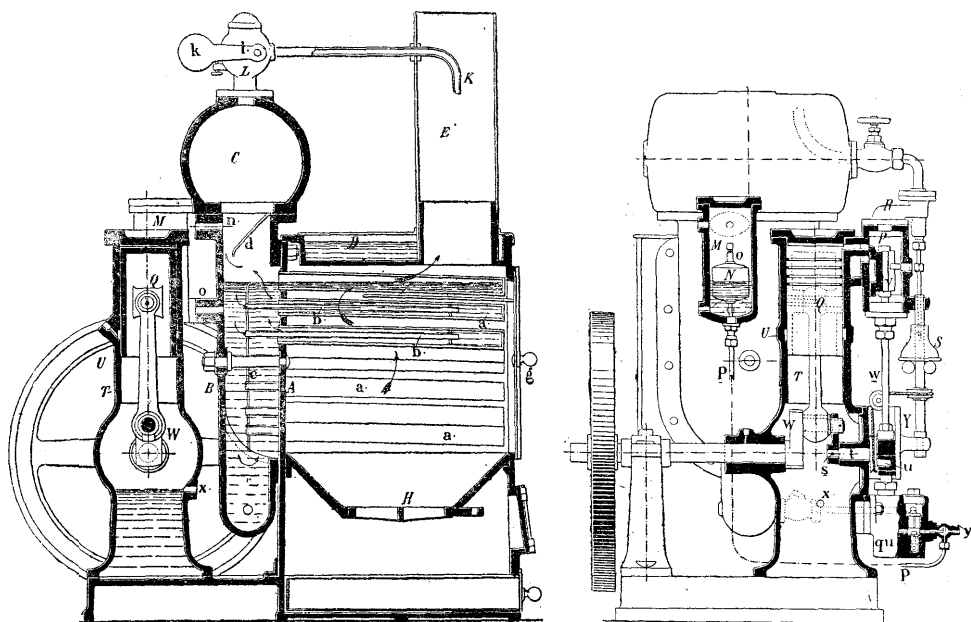


Fig. 243 et 244. — Moteur [Flurschein et] Bergmann. Coupes verticales et transversales par le cylindre moteur, la chaudière et le régulateur de niveau d'eau.

A B chaudière à tubes *a*, traversée par des petits tubes fixés à la plaque *c*, et déterminant une circulation d'eau. C, dôme de vapeur avec déflecteur-sécheur *d*. M, régulateur d'alimentation (fig. 246). L, soupape régulatrice de pression et du tirage (fig. 247). Q, cylindre moteur. W, arbre moteur commandant le régulateur *s*. R, prise de vapeur. V, tiroir. D, réchauffeur.

indiquée par les flèches. Le récipient B, en forme de poche, dans lequel arrive l'eau à vaporiser, est fixé contre la paroi *A* et surmonté du dôme de vapeur *C*; une cloison *d* est intercalée pour mieux séparer l'eau et la vapeur. A la partie supérieure se trouve le réchauffeur *D*, qui sert de ciel à la chaudière et enlève à la fumée, dont l'échappement est placé juste au-dessous, une grande partie de sa chaleur.

Le foyer *H* est placé sous et entre les tuyaux *a*; le combustible, chargé en *F* et en *G* le long de ces tubes, entre les deux parois de la chaudière, tombe sur la grille comme dans les poêles mobiles à combustion lente, et, en sa qualité de mauvais conducteur du calorique, il s'oppose au rayonnement de la chaleur. Une porte à coulisse *g* rend le foyer et le système tubulaire facilement accessibles du dehors.

Le chauffage et le tirage sont réglés automatiquement par une soupape de sûreté *J* disposée dans la chapelle *L* et représentée en détail (fig. 247); une partie de l'excé-

dent de vapeur, qui s'échappe de la chaudière sous une pression trop forte par suite d'une variation du chauffage, soulève cette soupape et vient souffler dans la cheminée E par le tuyau K en sens inverse de la direction des gaz pour diminuer le tirage. Cette soupape de sûreté, qui sert en même temps de régulateur pour le chauffage, est construite de façon que la vapeur sortant par le tuyau K n'ait que très peu de force expansive, et ne puisse refouler la fumée vers la grille H, en supposant même que ladite soupape soit toute grande ouverte. A cet effet, le couvercle *h*, d'un poids proportionné, se soulève et laisse échapper l'excédent de vapeur aussitôt que la pression dans la chapelle L dépasse la moyenne. La soupape J est est nargée par le poids *k*, attaché à l'extrémité d'un levier composé du bras exté-

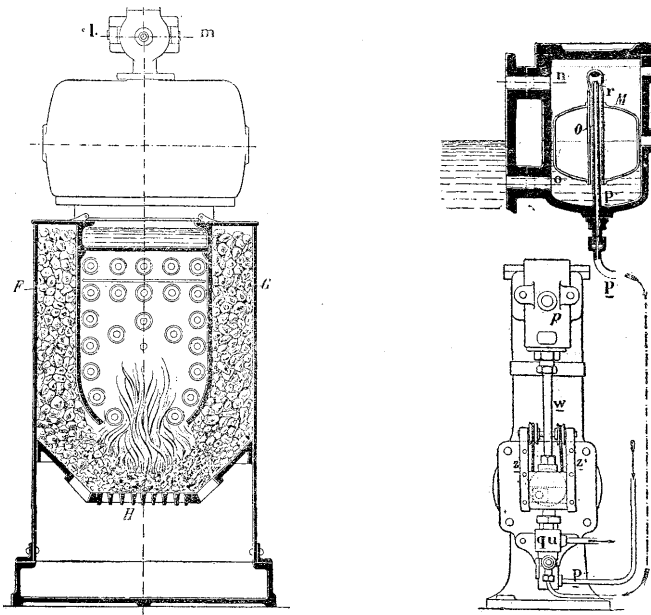


Fig. 245 et 246. — Moteur Flurscheim et Bergmann. Coupe de la chaudière, détail du régulateur de niveau. H, grille. FG, combustible.

M, bouteille communiquant avec la chaudière par *o* et *n*. O flotteur ouvrant en *r*, quand le niveau monte, le tuyau *p*, de manière à admettre la vapeur par *y* (fig. 244) au-dessus de la soupape d'aspiration de la pompe alimentaire *q u*.

rieur à fourchette *l m* et du bras articulé *i*, à l'intérieur de la chambre L. On peut faire déboucher la vapeur du tuyau L soit entre les tubes de la chaudière pour régulariser le chauffage, soit dans le cendrier, pour qu'elle s'oppose à l'entrée de l'air du dehors.

La poche pendante B (fig. 243) communique par deux tubulures *n* et *o* avec une boîte M (fig. 246) dans laquelle est disposé le niveau flotteur N, au centre duquel est soudé le tuyau O, qui glisse facilement sur le tuyau *p*; celui-ci se trouve fermé en *r* lorsque le flotteur n'est pas maintenu par l'eau de la chaudière à une hauteur suffisante; par contre, si l'eau est trop haute dans la chaudière, le flotteur s'élève, et la vapeur, passant par les orifices supérieurs du tube O, s'échappe par le tuyau *p*, qui débouche entre les soupapes de la pompe directement sous le piston ou dans le tuyau d'aspiration. La vapeur qui sort par ce tuyau, lorsque le niveau de l'eau est

trop élevé, fait pression contre la soupape d'aspiration et empêche ainsi l'arrivée de l'eau. Aussitôt que le niveau de l'eau s'abaisse dans la chaudière, le flotteur N ferme l'échappement de vapeur par *r*, et la pompe alimentaire, qui est toujours restée

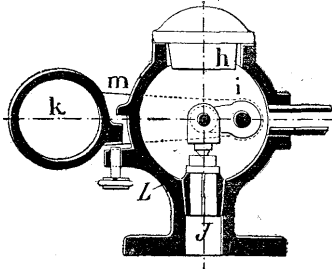


Fig. 247. — Moteur Flurscheim. Soupape régulatrice du tirage. J, soupape chargée d'un poids *k*, par le levier *m i* : quand elle s'ouvre, sa vapeur va, par K (fig. 243) rabattre le tirage de la cheminée E'. *h*, soupape laissant s'échapper l'excédent de vapeur, quand la pression dépasse une certaine limite.

en mouvement, peut alors recevoir de l'eau et l'envoyer dans la chaudière jusqu'au moment où le niveau normal est dépassé; l'échappement est ouvert de nouveau par le flotteur et le même phénomène se reproduit.

On peut réunir le régulateur de tirage et l'appareil à niveau flotteur dans une même boîte de manière à former une seule pièce d'armature.

L'alimentation de la chaudière est effectuée par la pompe alimentaire *q u*, qui communique avec le régulateur de niveau d'eau ci-dessus décrit par le tuyau de conduite *p* et le robinet à trois voies *y*. Dans le cas présent, la pompe est mise en marche ainsi que le régulateur de la machine au moyen de l'axe à manivelle *s*, de l'arbre *t* et du coulisseau *u*, d'une seule pièce avec le piston de ladite pompe, et relié par la tige *w* au tiroir distributeur *v*. Le coulisseau *u* glisse entre les deux parois *z*

et *z'*, formant boîte avec le couvercle *y*; le tiroir *v* glisse dans la boîte de distribution P, sur laquelle est vissée la soupape régulatrice R, portant elle-même un tiroir équilibre en forme de piston de construction ordinaire, et fonctionnant par le régulateur S.

Moteur atmosphérique Hathorn-Davey.

Le moteur de MM. *Hathorn Davey and Co*, construit par M. *Albaret*, est certainement celui des moteurs à vapeur domestiques qui attirait le plus vivement l'attention à l'Exposition de 1889 par son originalité, la régularité, l'économie et surtout la sécurité absolue de son fonctionnement. Ce moteur fonctionne en effet par le vide de la condensation, sans aucun danger d'explosion.

Nous en empruntons la description très complète à la publication industrielle de M. *Armengaud* ⁽¹⁾.

Légende des figures 248-249-250 (p. 415). B, foyer en fonte, avec grille *c'* et cendrier C, à porte *e* situé à l'intérieur de la chaudière A, également en fonte. D, cylindre moteur en bronze, logé dans le dôme de vapeur. *m'*, prise de vapeur commandée par la manette *m'*, et soumise au régulateur M par O. *n*, tiroir de distribution commandé par un excentrique *g*, à tocs et réversible. *d*, échappement de la vapeur dans la boîte supérieure *j* du condenseur à surfaces I. Cette vapeur se condense dans l'espace annulaire des tubes J, puis son air et son eau sont aspirés de la boîte inférieure *j'* du condenseur dans la pompe à air K (fig. 253). I', entrée. I₂, sortie de l'eau de circulation, toujours la même, qui traverse le condenseur par un appel de thermo-siphon. S, soupape non chargée, s'ouvrant dans la cheminée B' dès que la pression dépasse celle de l'atmosphère. *n*₂, barrette fixée par un boulon *n'*, et retenant les garnitures en étoupe et suif des tiges du piston et du tiroir. *d*₂, vis de butée du fond supérieur du cylindre moteur. L, bouteille alimentaire (fig. 252). *c'* robinet de vidange de la chaudière.

1. Voir aussi les brevets anglais 3833, 15185 de 1884, 1981 de 1885, 2930, 5607 de 1886.

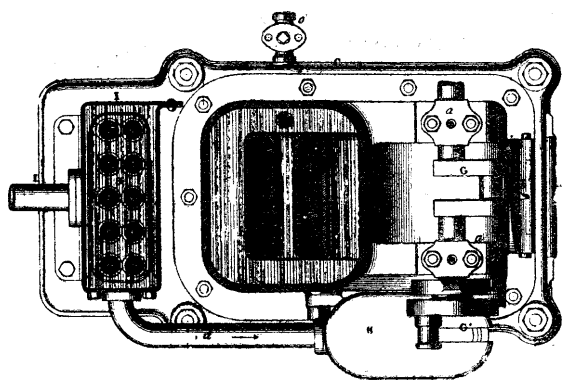
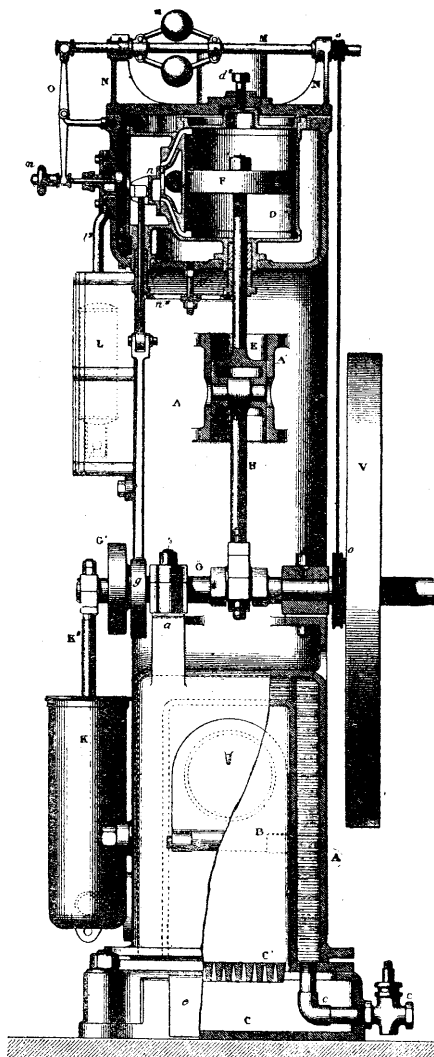
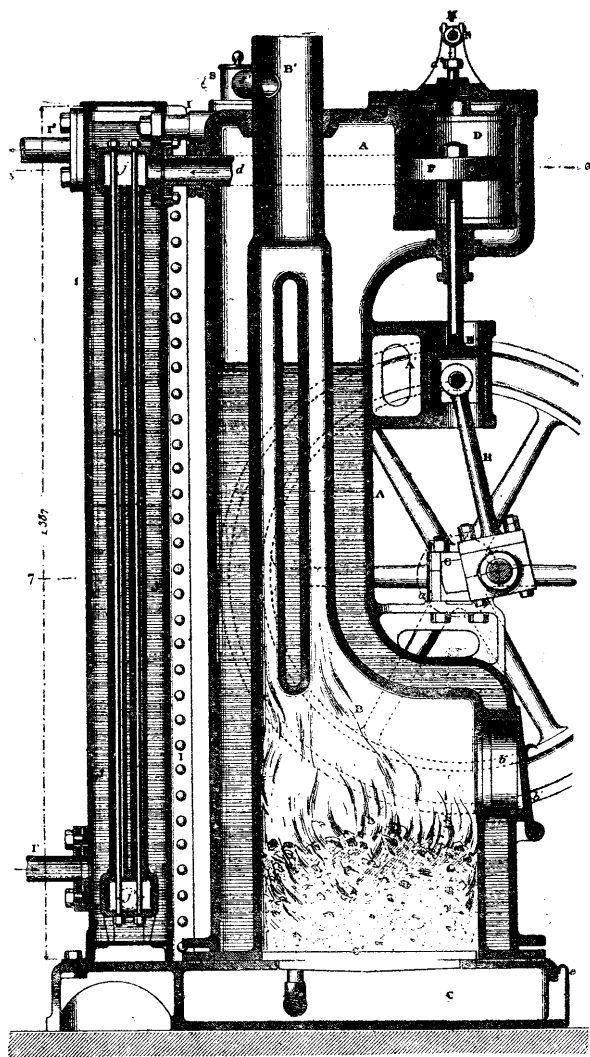


Fig. 248, 249 et 250. — Moteur atmosphérique réversible Hathorn Davey, de 1 cheval. Coupe verticale 1, 2, 3, 4 (fig. 251). Elévation avec coupe partielle du foyer, et coupe horizontale 7-8, fig. 248. (Voir la légende, p. 414.)

Dispositions d'ensemble. — La plus importante pièce de cette machine, comme dimension, est le bâti creux en fonte A, fig. 248-253 de forme rectangulaire, à angles arrondis, présentant une capacité dans laquelle est renfermé le foyer B, formant avec celle-ci la chaudière proprement dite; ces deux capacités reposent sur le socle B muni d'une grille C', et dont l'intérieur sert de cendrier.

Le foyer est surmonté de deux conduits rectangulaires, laissant entre eux un espace vide pour la circulation de l'eau et se réunissant à la partie supérieure par un conduit de section circulaire B' pour le départ de la fumée.

La base et le corps de l'enveloppe A épousent exactement la forme du foyer et des conduits de fumée, afin de laisser autour de ceux-ci l'espace nécessaire pour l'eau à vaporiser; quant à sa partie supérieure, elle présente un renflement formant une chambre, à l'intérieur de laquelle est monté le cylindre moteur en bronze D.

Le bâti-enveloppe est encore fondu avec le fourreau A' qui sert de guide à la crosse E de la tige du piston F, et avec les supports des paliers a de l'arbre coudé G actionné par la bielle H.

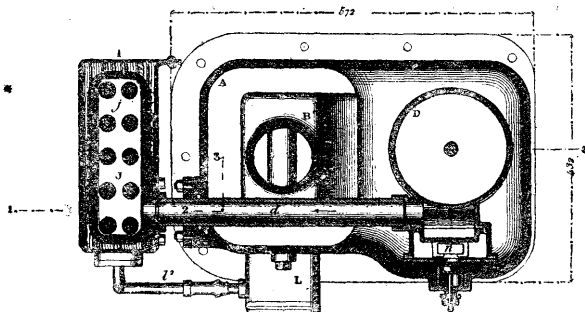


Fig. 251. — Moteur Davey d'un cheval. Coupe 5-6, fig. 248.

Le condenseur est installé verticalement derrière le bâti, sur le socle C prolongé à cet effet; il consiste en un coffre en tôle I dans lequel une circulation d'eau froide est établie, son arrivée ayant lieu vers la partie inférieure par le tuyau I' et sa sortie au sommet par le tuyau I''. Un faisceau de dix tubes J réunit deux boîtes en fonte j et j', dans l'une desquelles, la supérieure, arrive la vapeur d'échappement par le tuyau d, qui traverse la chaudière; puis, lorsque cette vapeur est condensée, elle est extraite de la boîte inférieure j' par le tuyau d', qui établit la communication de cette boîte avec la bêche K de la pompe à air D' représentée figure 253.

Un flotteur alimentateur, chargé de maintenir un niveau d'eau constant dans la chaudière, en y laissant pénétrer d'une façon intermittente de petites quantités d'eau prises sur le condenseur, est installé dans une boîte en fonte L, fixée sur la paroi du bâti formant le coffre extérieur du générateur.

Actuellement que nous connaissons les organes principaux de ce moteur, examinons ses différentes parties en détail.

Générateur. — On a déjà vu par ce qui précède que le générateur, comme d'ailleurs tous les organes de la machine, est d'une extrême simplicité: peu de chose nous reste donc à signaler.

L'ouverture du foyer est constituée par une virole b, reliant les deux capacités A et B, et se ferme par la porte b'; une trappe en tôle c est aussi appliquée au cendrier.

La figure 252 montre la construction de l'alimentateur automatique installé dans

la boîte K; il consiste essentiellement en un flotteur L' auquel est suspendu, dans une chape, un obturateur *l* (vu aussi en ponctué fig. 249) qui, tant que le niveau normal de l'eau se maintient dans la boîte L (qui est d'ailleurs en libre communication avec la chaudière), s'applique exactement sur l'orifice d'un ajutage *l'* communiquant par le tuyau *l²* avec le coffre I, qui reçoit l'eau servant à sa condensation vers sa partie supérieure, afin que, non seulement cette eau soit prise au point où sa température est le plus élevée, mais surtout avec une hauteur de charge suffisante.

Il ne faut pas oublier, en effet, que la pression intérieure dans la chaudière est tout au plus égale à la pression atmosphérique, de telle sorte qu'aussitôt que le flotteur L' tend à s'abaisser, l'obturateur *l* démasque l'orifice de l'ajutage, et l'eau pénètre dans la chaudière par la simple action de la pesanteur, jusqu'à ce que, le niveau étant revenu à sa hauteur normale, l'obturateur vienne de nouveau fermer l'orifice de l'ajutage et arrêter l'introduction de l'eau.

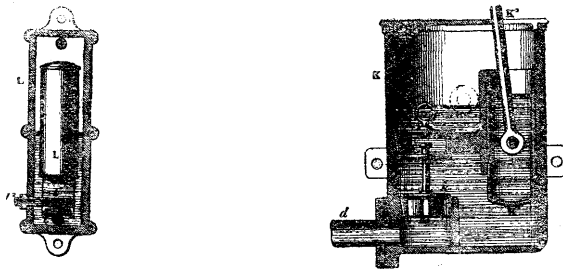


Fig. 252 et 253. — Moteur Davey. Détail de la bouteille alimentaire L et de la pompe à air K. L', flotteur qui, dès que l'eau baisse dans la boîte L, toujours en rapport avec la chaudière, ouvre en *l'*, par *l*, le tuyau *l²* (fig. 249 et 250) qui lui amène l'eau prise au haut de la bêche du condenseur.

K, bêche de la pompe à air dont le piston K' aspire par *d'k* la vapeur condensée et l'air au bas *j'* du condenseur, et la refoule par K'. L'eau s'évacue de la bêche par *r'*. K², bielle du piston B', mue par la manivelle G'. (Fig. 248.)

La face extérieure de la boîte L est, d'ailleurs, fermée par une glace qui laisse voir le niveau de l'eau et permet, par suite, de constater le fonctionnement normal du flotteur.

On remarque (fig. 248) au sommet du bâti qu'il y a une soupape S, de 20 centimètres carrés de section, qu'on ne peut appeler une soupape de sûreté, car sa mission ne consiste qu'à empêcher la pression de s'élever dans la chaudière au-dessus de la pression atmosphérique.

Aussi cette soupape n'est-elle pas chargée, et elle laisse échapper la vapeur aussitôt que la pression monte tant soit peu au-dessus de la pression atmosphérique, et la dirige dans la cheminée par le raccord *s'*.

Il y a encore, appliqué à la chaudière, le raccord coudé *c* (fig. 249 et 250) avec son robinet *c'*, adapté à la partie inférieure pour permettre d'en opérer la vidange.

Les dimensions principales de cette chaudière sont:

Surface de grille	1 ^m 2,07
Surface de chauffe jusqu'au niveau de l'eau	1 ^m 2,45
Volume d'eau	0 ^m 3,044
Volume de vapeur	0 ^m 3,021

Mécanisme moteur. — Nous avons vu ci-dessus que le cylindre D, y compris sa boîte de distribution, est installé dans la chambre ménagée à cet effet au sommet

du bâti, c'est-à-dire à l'intérieur même du générateur, dans la vapeur, de telle sorte que celle-ci parvienne dans la boîte par une simple ouverture percée dans son couvercle.

Or, il faut pouvoir, pour régler l'admission, modifier à volonté cette ouverture, et c'est dans ce but qu'en regard, comme on le voit (fig. 249 et 251), est disposée une soupape *m*, dépendant à la fois par sa tige du petit volant à mollette *m'*, par lequel on la manœuvre pour la mise en train ou l'arrêt de la machine, et aussi du régulateur à force centrifuge *M*, au sujet duquel nous reviendrons.

Le tiroir de distribution *n* ne présente aucune particularité; c'est un tiroir à coquille commandé, comme à l'ordinaire, par l'excentrique circulaire *g*, monté sur l'arbre moteur *G*. Celui-ci n'est pas calé sur l'arbre, il est entraîné par lui au moyen de tocs qui, suivant le sens dans lequel on fait tourner l'arbre en agissant sur le volant *V*, place le centre de l'excentrique dans la position voulue par rapport à la manivelle motrice, pour que la distribution se trouve réglée par ce sens de rotation.

Par conséquent, pour mettre en marche, quand l'eau de la chaudière est à 100° et que la soupape de sûreté *S* se soulève, il suffit d'ouvrir, au moyen de la molette *m'*, la soupape d'admission de vapeur et de faire tourner à la main, dans le sens voulu, le volant de l'arbre moteur.

La fermeture supérieure du cylindre et les garnitures des tiges du piston et du tiroir ont pu être très simplifiées en raison de l'absence de pression extérieure.

Le piston *F* est en bronze comme le cylindre, il est creux et porte sur sa circonférence trois cannelures circulaires.

Le couvercle du cylindre est simplement maintenu par une vis de pression *d*², taraudée dans le plateau qui ferme la chambre où se trouve ce cylindre. Les garnitures ne consistent qu'en un peu d'étoupe et de suif, et les deux bouchons correspondant à la tige du piston et à celle du tiroir sont retenus par une même réglette *n*² (fig. 250), terminée par une fourche à chacune de ses extrémités et serrée par une vis *n'*.

Le régulateur *M*, à axe horizontal, est installé au-dessus du cylindre et commandé par l'arbre moteur au moyen d'une corde et des poulies *o* et *o'*; l'un des manchons de ce régulateur, dans lequel l'axe *M'* peut glisser, est retenu dans le support *N*, de même que la poulie *o'* est retenue dans l'autre support *N'*. C'est l'axe *M'*, rendu entièrement solidaire du second manchon, qui se déplace longitudinalement selon les variations de vitesse du régulateur, qui actionne par son extrémité le levier *O*, commandant la tige de la soupape d'admission *m*.

L'arbre moteur *G* se termine à l'une de ses extrémités par le plateau-manivelle *G'*, qui actionne le piston *K'* de la pompe, et reçoit de l'autre côté le volant-poulie *V* par lequel la machine transmet sa puissance.

Appareil de condensation. — Le condenseur proprement dit *I*, dans lequel circule l'eau réfrigérante, est formé, quant à sa paroi verticale, d'une seule feuille de tôle, dont les deux bords sont rivés ensemble; il repose, comme nous l'avons dit, sur un socle *C* et se rattache par sa partie supérieure au bâti *A* par un écrou et un boulon central prisonnier dans un manchon *F* (fig. 249).

Les deux boîtes *j* et *j'*, respectivement en rapport avec le tuyau d'échappement de vapeur *d* et avec le tuyau d'aspiration *d'* de la pompe *K'*, sont boulonnées sur les faces correspondantes du coffre *I* (fig. 250 et 251). Chaque tube *J* est traversé par un boulon qui relie les deux boîtes. Les tubes ont 25 millimètres de diamètre extérieur et 3 millimètres d'épaisseur, et présentent dans leur ensemble une surface intérieure de 0^m2,66.

L'eau réfrigérante circule dans ce coffre de *bas en haut*, c'est-à-dire dans la direction qu'elle tend à prendre d'elle-même au fur et à mesure de son échauffement. Elle est supposée ici en charge, ou provenir simplement d'un réservoir de capacité suffisante pour que l'eau ait le temps de s'y refroidir naturellement et puisse ainsi

servir constamment, disposition adoptée dans les localités où on ne peut disposer que d'eau en petite quantité.

La pompe à air est représentée en détail (fig. 253); le corps est fondu avec la bêche, ainsi que la cloison horizontale qui sépare la chambre inférieure d'arrivée de l'eau de celle supérieure d'expulsion. La disposition des clapets k et k' présente cette particularité, qu'elle permet de les retirer tous les deux ensemble. A cet effet, le clapet d'aspiration est surmonté d'une tige qui traverse librement le croisillon inférieur du clapet k' , et présente au-dessus, et à la hauteur suffisante pour que les deux clapets conservent toute leur indépendance, une embrase par laquelle ce clapet inférieur k est ainsi soulevé dès que celui supérieur l'a été lui-même par l'anneau dont il est pourvu; inutile de faire remarquer d'ailleurs que la partie cylindrique du siège du clapet k' est d'un diamètre tel que le clapet K' puisse le traverser sans difficulté.

Le piston plongeur K' est relié par la bielle de commande K^2 au plateau manivelle G' ; l'expulsion de l'eau se fait par l'orifice r , indiqué en ponctué (fig. 253). On voit aussi que l'eau peut pénétrer par le trou r' au-dessus du piston et former un joint hydraulique étanche, à l'exclusion de toute autre garniture; un indicateur de vide est appliqué sur la bêche K , au-dessous du clapet de refoulement.

Travail du moteur. — Ce moteur, à la vitesse de 120 tours par minute, développe une force de un cheval vapeur.

Voici les résultats que M. Albaret nous a communiqués de quatre expériences faites sur ce moteur : (1)

NUMÉRO D'ORDRE DES EXPÉRIENCES	1	2	3	4
Durée des essais en minutes.....	108	240	221	600
Nombre de tours total.....	12732	31822	27310	75428
Nombre par minute.....	118.3	132.5	123.6	125.7
Force développée en chevaux-vapeur...	0.99	1.11	1.03	1.07
Consommation totale de coke, y compris l'allumage	12 ^k	25 ^k ,5	21 ^k	53 ^k
Consommation par cheval et par heure.	6,730	5,745	5 530	5 04
Consommation d'eau pour l'alimentation en litres.....	70	144	128	300
Consommation d'eau pour la condensation en litres.....	1310	2756	2400	7600
Consommation d'eau totale en litres...	1380	2900	2500	7900
Consommation d'eau par cheval et par heure pour l'alimentation.....	39 ^l ,3	32 ^l ,4	31 ^l 6	28 ^l 5
Consommation d'eau par heure et par cheval pour la condensation.....	736 ^k	620	632	723
Température de l'eau servant à la condensation.....	20°	20°	20°	18°
Température de l'eau sortant du condenseur.....	45°	47°	48°	44°
Température de l'eau servant à l'alimentation	37°	40°	35	35°
Temps nécessaire pour la mise en marche.	30'	20'	30'	35'

1. Depuis, une modification a été apportée par M. Albaret à la pompe; celle-ci fait toujours le vide dans le condenseur, mais, en même temps, elle renvoie dans la chaudière l'eau de condensation, et on arrive ainsi à employer toujours la même eau dans la chaudière. A cet effet, le piston creux est prolongé pour traverser une boîte à étoupe, ménagée à la partie supérieure de la bêche, qui a son compartiment supérieur, dans lequel se trouve le clapet de refoulement, fermé hermétiquement, et pourvu d'un tuyau de refoulement qui établit une communication entre ledit compartiment et la chaudière.

En travail normal, le tension de la vapeur étant le plus souvent au-dessous de la pression atmosphérique, il y a un vide de 2 à 5 centimètres de mercure sur l'une des faces du piston, pendant que l'autre face est en relation avec le condenseur, dont le vide varie entre 65 et 70 centimètres. La pression effective par centimètre carré correspond donc à une colonne de mercure de 0^m,65 environ, soit 800 à 900 grammes.

Observation. — Le temps nécessaire pour la mise en marche n'a été que de 20 minutes dans la deuxième expérience, parce que l'eau de la chaudière était encore chaude, l'arrêt n'ayant duré que deux heures.

Dans ces essais il eût été possible de restreindre la consommation de charbon en envoyant un peu moins d'eau au condenseur, pour que sa température soit plus

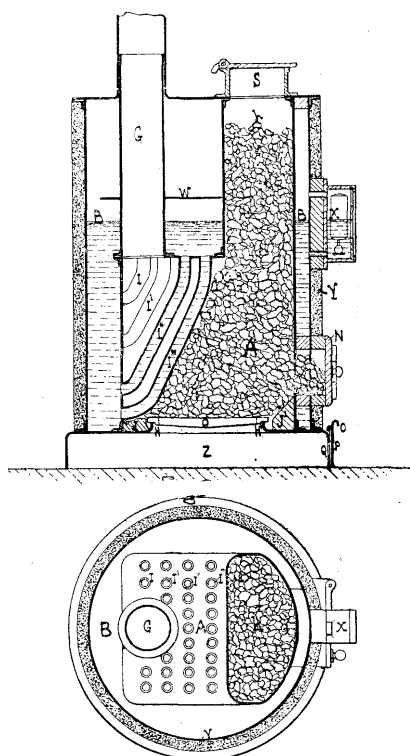


Fig. 254 et 255. — Chaudière Davey de 1888, à condenseur séparé. A, foyer-gazogène. B chaudière en tôle d'acier comme le foyer. I tubes de circulation. G, cheminée. S, trémie de chargement. X, bouteille alimentaire. W, antiprimeur.

D, Grille à garniture réfractaire J. H, ouverture emboutie du cendrier R, supportant la grille. O P porte du cendrier. Y, enveloppe calorifuge.

élevée à la sortie ; mais, en tout cas, ces essais ont démontré que ce moteur peut être installé, conduit et entretenu avec la plus grande facilité.

Il coûte 1,650 francs et pèse 900 kilogrammes.

La sécurité dans le fonctionnement de ce moteur est complète, puisqu'il travaille

à des pressions négatives; sa marche est complètement automatique, il n'y a que la conduite du feu, et encore son foyer est disposé de façon à n'exiger que fort peu de surveillance.

Ce moteur convient tout particulièrement pour les petits ateliers, imprimeries, boulangeries, buanderies, fermes, et pour l'élévation de l'eau dans les maisons, de campagne, bains et lavoirs.

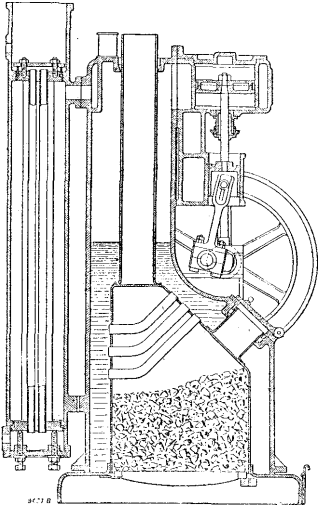


Fig. 256. — Chaudière tubulaire Davey avec condenseur pour les machines du type fig. 158.

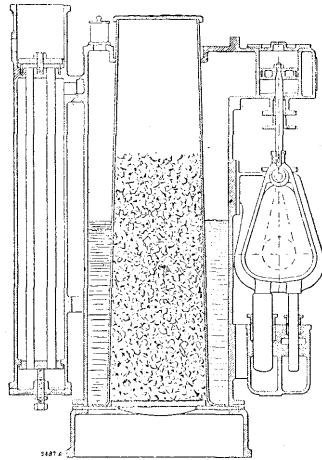


Fig. 257. — Chaudière Davey sans tubes et avec condenseur pour petites machines du type fig. 159.

Lorsqu'il doit actionner des pompes, l'eau nécessaire pour la condensation est prise sur celle élevée. En supposant que cette quantité d'eau soit de 400 litres par heure pour la force de 1 cheval, le débit par seconde sera de 0 l., 11 environ, et, si l'eau se trouve à 10 mètres de profondeur, le travail nécessaire pour monter cette eau sera inférieur à 2 kilogrammètres, c'est-à-dire, une légère fraction du travail moteur disponible.

S'il est difficile de se procurer de l'eau, on peut installer un petit réservoir afin de se servir constamment de la même eau, comme il a été dit.

Dans les modifications plus récentes représentées par les fig. 254 à 259 (¹), le foyer en fonte des appareils précédents est remplacé avantageusement par des foyers en tôle d'acier pourvus parfois, fig. 256 de tubes de circulation recourbés. Les

1. Engineering, 21 juin 1889, et brevet anglais 1160 de 1888. Voir aussi *La Nature*, 4 novembre 1882. *Revue Industrielle*, 5 mars 1885. *American machinist*, 6 juin 1885.

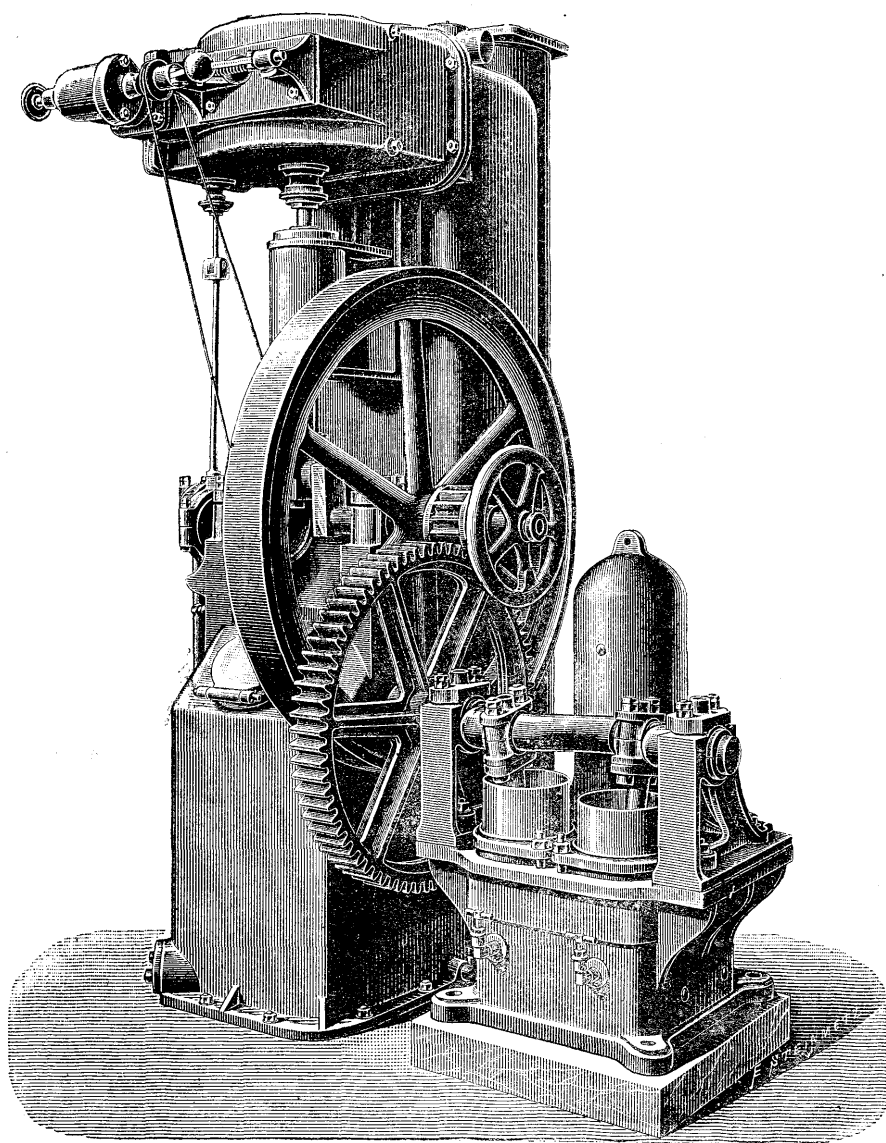


Fig. 258. — Moteur Davey à chaudière tubulaire (fig. 256) actionnant une pompe par engrenages.

légendes de ces figures suffisent pour expliquer le fonctionnement de ces appareils parfaitement adaptés à leurs fonctions.

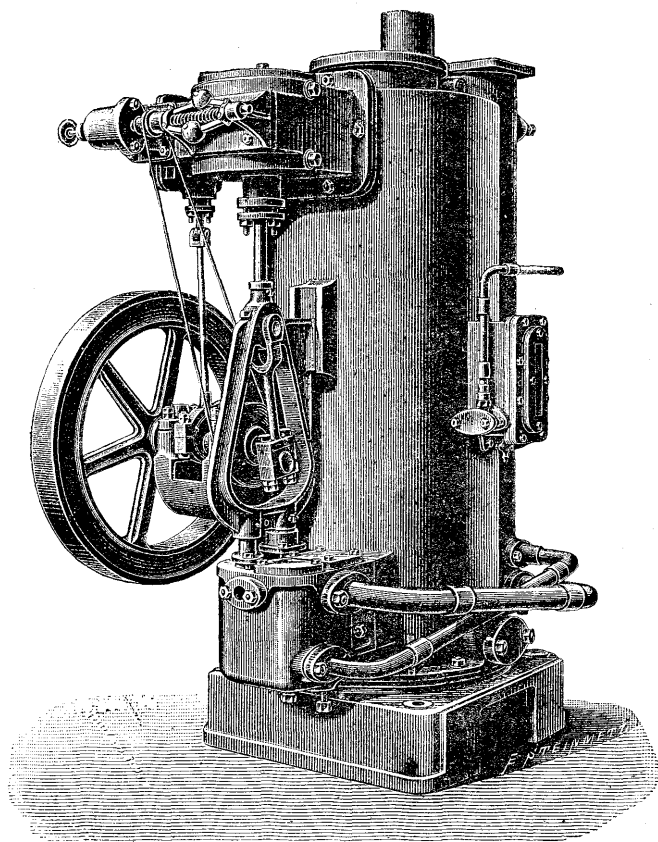


Fig. 259. — Petite machine Davey à chaudière sans tubes (fig. 257) actionnant directement un pompe.

Machine Tyson.

Dès l'origine, M. Fontaine avait proposé, pour ses petits moteurs à vapeur domestiques, le chauffage de la chaudière par un brûleur à gaz : moyen très commode, mais évidemment coûteux, surtout à Paris. Aux États-Unis, on a fréquemment proposé — même pour des forces relativement considérables ⁽¹⁾ —

1. Exemple la machine « Shipman » *Scientific American*, 13 septembre 1884.

de chauffer au moyen de brûleurs à pétrole, également très commodes, mais bien moins coûteux que le gaz : tel est, par exemple, le cas du petit moteur *Tyson* représenté par les fig. 260 et 261. La chaudière, à double serpentín, est, comme celle du moteur Bashall, pourvu d'un réchauffeur d'air. L'air nécessaire à la combustion du pétrole s'échauffe dans l'enveloppe de la chaudière, qu'il parcourt de haut en bas pour venir se charger des vapeurs de pétrole qui se brûlent en L. Les gaz

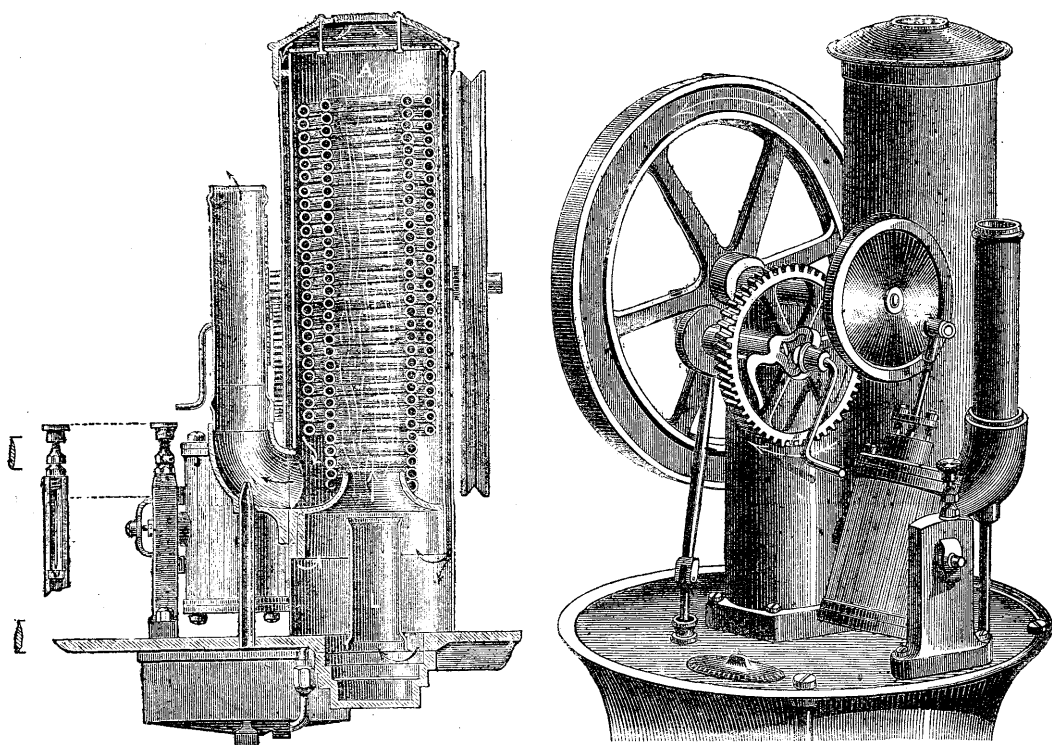


Fig. 260. — Moteur Tyson monté sur son réservoir d'eau. Ensemble et coupe par la chaudière.

brûlés s'échappent autour des serpentins par un tirage qu'alimente une partie de la vapeur d'échappement. Le reste, la majorité de la vapeur d'échappement, passe autour d'un serpentín dit régénérateur fig. 261, traversé par l'eau d'alimentation qu'elle réchauffe avant son entrée dans la chaudière. Quant à l'alimentation, elle s'opère par l'intermédiaire d'un matelas d'air préalablement chargé, et qui communique, au bas de sa cloche, d'une part avec la pompe alimentaire et d'autre part avec le serpentín de la chaudière. Cette chambre à air agit en partie comme régulateur d'alimentation et en partie comme soupape de sûreté, car le serpentín y refoule l'eau, quand le moteur s'arrête, jusqu'à ce que la suppression du tirage ait permis à la pression de baisser suffisamment pour éviter tout danger. La flamme qui continue à brûler après l'arrêt du moteur est insuffisante pour y pro-

voquer la moindre surchauffe, mais la remise en train est, néanmoins, presque ins-

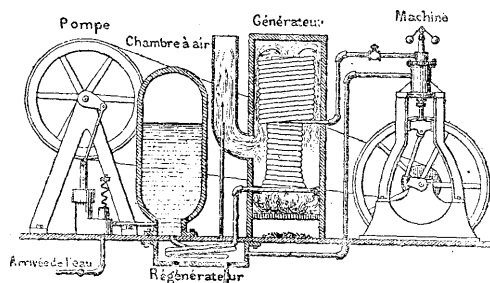


Fig. 261. — Moteur Tyson. Schéma de l'ensemble.

stantanée. Le volume d'eau renfermé dans la chaudière est d'ailleurs assez petit pour qu'on puisse la considérer comme pratiquement inexplosible (1).

Moteur Copeland.

La chaudière des petites machines de *M. L. D. Copeland* sont composés fig. 262-264 de corps cylindriques verticaux A. A, groupés autour d'un corps central, et pourvus de tubes d'eau *a*, plongeant dans le foyer. La vapeur produite en A s'ajoute à celle du corps central dans son dôme B, et descend par le tuyau D au surchauffeur F, plongé dans le foyer, d'où elle va au moteur par le tube central *d*, en passant sous la soupape de sûreté E. Le niveau de l'eau est réglé par un alimentateur à flotteur, qui avertit par une sonnerie en cas de baisse dangereuse, bientôt suivie d'ailleurs de la fusion d'un plomb qui éteint le feu. La machine représentée par la fig. 262, du type de deux chevaux, pèse environ 90 kilogrammes avec sa chaudière. Elle consommerait environ 17 litres de pétrole par

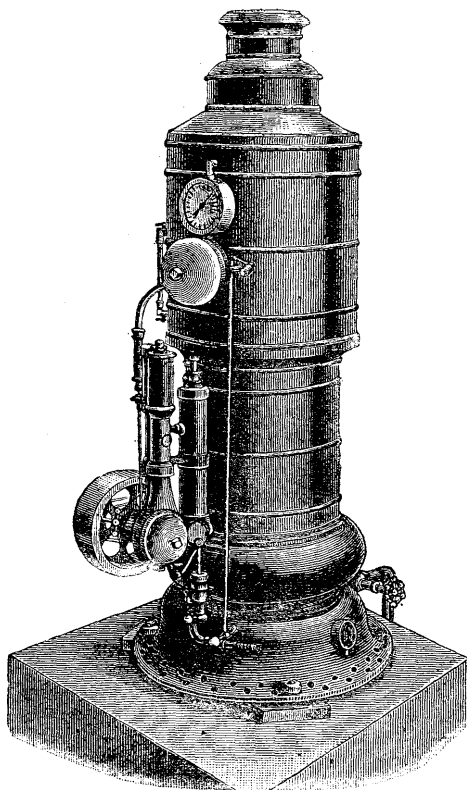


Fig. 262. — Moteur Copeland. Ensemble.

1. *La Nature*, 30 mai 1880.

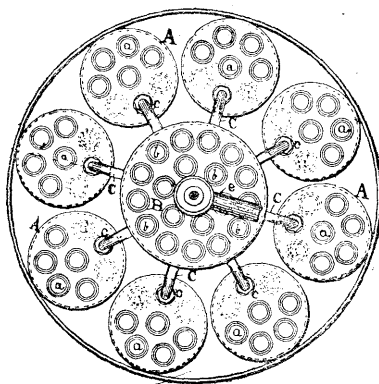
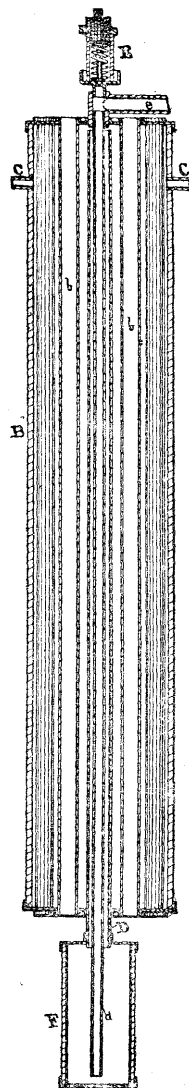
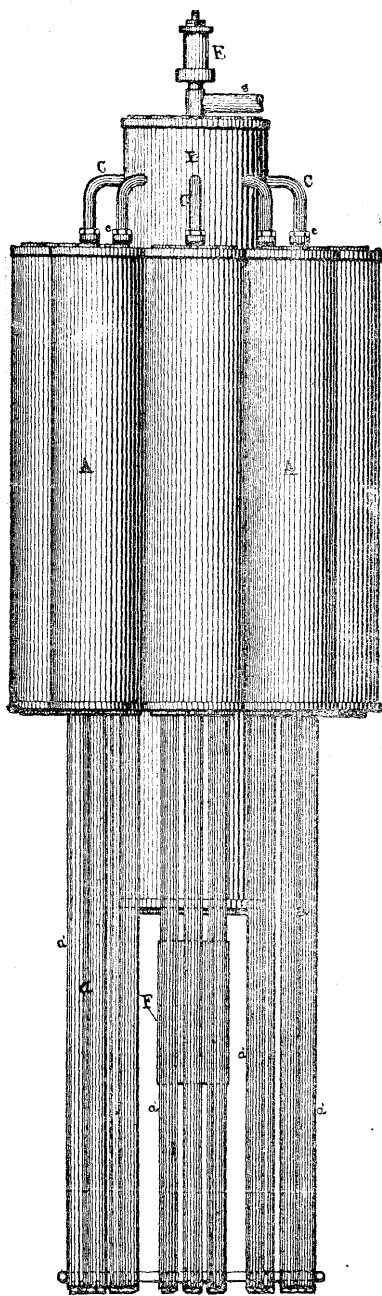


Fig. 262 à 264. — Chaudière Copeland. B, corps central, à tubes *b*, relié aux bouilleurs A par les tubulures *c*. *a*, tubes d'eau plongeant dans le foyer. F, surchauffeur recevant par D la vapeur humide et envoyant, par *d*, la vapeur surchauffée dans le dôme B. E, soupape de sûreté. *e*, prise de vapeur.

par 10 heures, ou 0 lit. 85 par cheval-heure : résultat très satisfaisant.

La figure 265, représente une curieuse application de ces moteurs à un vélo-

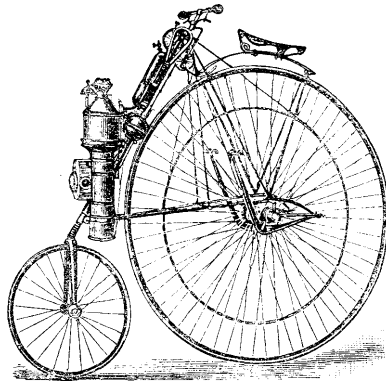


Fig. 265. — Vélocipède à vapeur Copeland.

cipe. La machine, qui développe près d'un demi-cheval, permet de marcher facilement à 16 kilomètres pendant plusieurs heures (1).

Moteur Serpollet

Les chaudières à vaporisation instantanée de M *Serpollet* ont été décrites et appréciées ici même par M. *Lesourd* (2). Je me bornerai à signaler quelques modifications récemment proposées par les inventeurs de ces appareils.

La première de ces modifications consiste à donner fig. 266-268 aux tubes en spirale une section lenticulaire renforcée par des nervures, qui en augmentent la masse, la surface de chauffe et la résistance, et sont peut être nécessaires avec le cuivre.

La seconde modification consiste à remplacer dans certains cas les tubes en spirale par des tubes verticaux doubles, constitués fig. 269 et 270 par l'emmanchement de deux tubes A et B, séparés par un espace annulaire capillaire. Le tube A est pourvu à l'extérieur d'ailettes destinées à augmenter sa surface de chauffe, et à l'intérieur de trois portées, droites ou hélicoïdales, destinées à cintrer automatiquement le tube B. L'eau est refoulée par la pompe d'alimentation en *u*, et sort en vapeur par *v v*. Cette disposition présente l'avantage de

1. *American Machinist*, 3 mars 1888. Voir aussi la chaudière de MM. de *Dion, Bouton* et *Trépardoux* (*Revue technique* 6^e partie, 2^e fascicule, p. 226).

2. *Revue technique* 6^{me} partie, 3^e fascicule, p. 535. Voir aussi Brevets anglais, 14710 de 1887, 5197 de 1889. *Revue industrielle*, 9 nov. 1889. *Génie civil*, 1^{er} sept. 1888. *Portefeuille* des machines, déc. 1888. *La nature*, 16 août 1889, 3 janv. 1891.

pouvoir régler parfaitement, par l'épaisseur des nervures b , la largeur de l'espace annulaire, et de permettre de la nettoyer à volonté. Elle est moins originale mais peut être plus pratique que le tube simple en spirale.

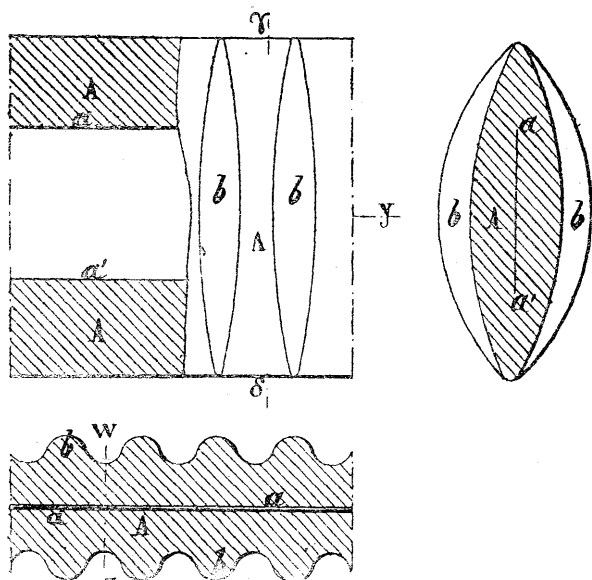


Fig. 266 à 268. — Serpellet 1889. Tubes en cuivre A, à nervures $b b$. Coupes y et W Z. $a a'$, fente ou canal capillaire du tube.

La pompe alimentaire représentée par les fig. 271 et 272, à pour objet de répartir uniformément l'alimentation entre les différents tubes d'une chaudière. Ces tubes aboutissent au corps de pompe par les raccords A_4 , et le piston de la pompe est percé de trous m_4 qui viennent mettre son intérieur successivement en rapport avec ces raccords.

Ceci posé, quand la tige D_3 de la pompe descend, elle commence, grâce au jeu 3-4, par ouvrir la soupape D_4 de manière que l'eau emprisonnée dans le corps de pompe par la fermeture de la soupape d'aspiration G_4 soit, à mesure que le piston descend, successivement refoulée des orifices m_4 dans les différents tubes de la chaudière.

Les figures 273-275 indiquent la disposition d'une chaudière étudiée de manière à produire plus régulièrement de la vapeur surchauffée à très haute pression. Cette chaudière se compose de trois tubes en spirale 1 2 3, disposés de manière que l'eau passe de A en F, au travers de ces trois tubes consécutifs suivant le trajet (A 1, B. C. 2, E. 3, F). L'eau arrive par A au centre du premier tube 1, d'où elle passe, presque totalement vaporisée, au tube 2, par B et C, puis la vapeur passe du tube

2 au dernier tube 3 par le raccord coudé ED. Les gaz du foyer passent entre les

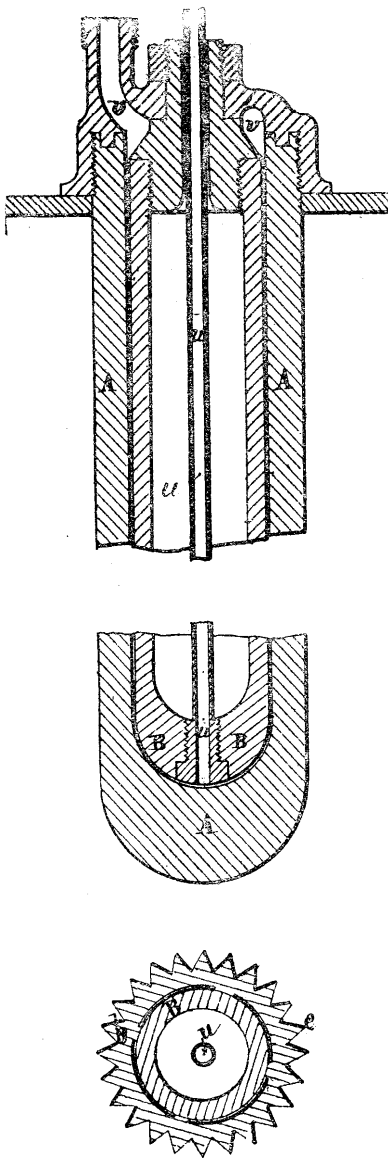


Fig. 269 et 270. — Serpollet 1889. Élément de chaudière à tubes droits. B, tube emmanché dans A, dans lequel il est centré par les nervures *b*. *u*, arrivée de l'eau entre A et B. *vv*, sortie de la vapeur. *e*, ailettes augmentant la chauffe de A.

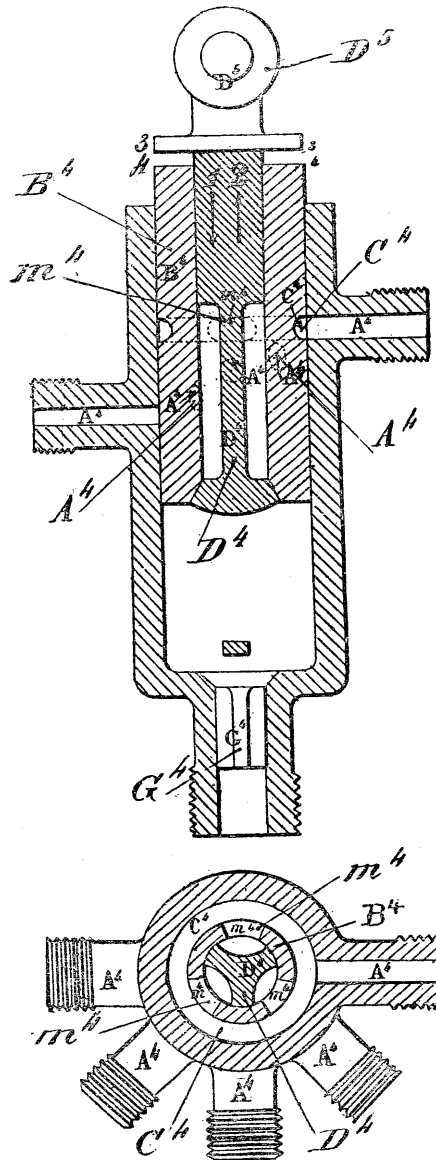


Fig. 271 et 272. — Serpollet 1889. Pompe alimentaire multiple. *G*₄, soupape d'aspiration. *B*₄, piston creux percé de trous *m*₄. *D*₄, soupape s'ouvrant par *D*₅ à la descente du piston, et laissant cette descente refouler par *m*₄ *m*₄, l'eau successivement dans les différents tubes *A*₄ de la chaudière.

spirales des tubes, comme en *ab*, redescendent autour de ces spirales, puis remontent à la cheminée par les carnaux *d. d.* et l'ouverture centrale *O*. Quand on arrête le moteur, on ouvre au moyen du registre *K* le carneau *Q*, par où les gaz s'échappent alors directement, sans danger de brûler les tubes. Afin d'empêcher

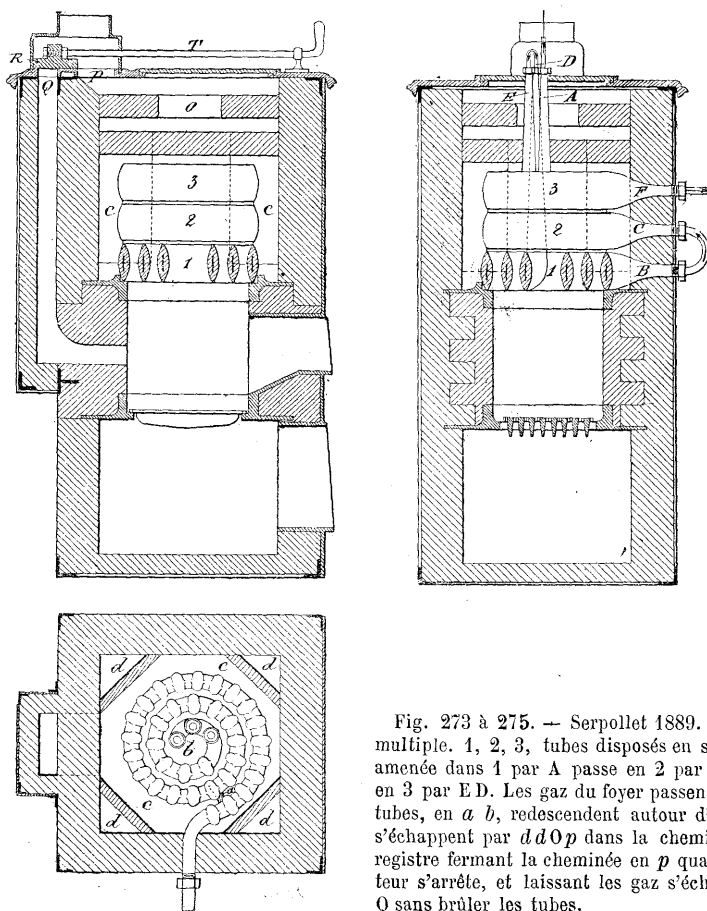


Fig. 273 à 275. — Serpollet 1889. Chaudière multiple. 1, 2, 3, tubes disposés en série, l'eau amenée dans 1 par *A* passe en 2 par *B C*, puis en 3 par *E D*. Les gaz du foyer passent entre les tubes, en *a b*, redescendent autour d'eux, puis s'échappent par *ddO p* dans la cheminée. *TR*, registre fermant la cheminée en *p* quand le moteur s'arrête, et laissant les gaz s'échapper par *Q* sans brûler les tubes.

le premier tube d'être brûlé par le rayonnement direct du foyer, on ferme le conduit et on ouvre la porte du foyer de manière à appeler sur ce tube un courant d'air froid. — La tige *T*, qui commande le registre *R*, est reliée à la manette de la prise de vapeur de manière que l'on ne puisse pas la fermer sans ouvrir en même temps l'orifice *Q*.

Moteur Bethmont.

Nous citerons encore les chaudières à vaporisation instantanées de M. *Daniel Bethmont* dont les principaux types sont représentés par les figures 276 à 279.

L'élément représenté par la figure 276 est, en principe, une sorte de

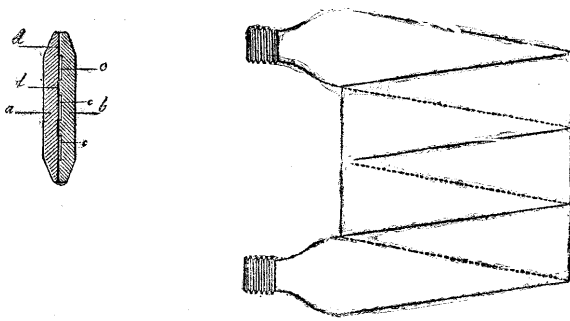


Fig. 276. — Bethmont 1890. Tube serpolet dédoublé.

tube serpolet dédoublé, formé de deux éléments juxtaposés comprenant entre eux les canaux capillaires *c c*, et soudés au laminoinr. On peut obtenir ainsi des capacités plus considérables sans aucun danger, mais il faut que la soudure soit parfaite pour pouvoir résister au feu.

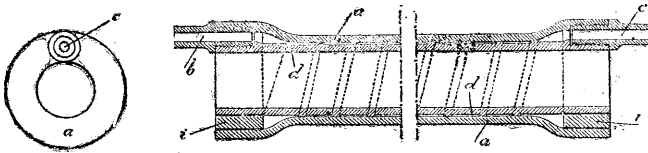


Fig. 277. — Bethmont. Élément tubulaire droit. *b*, entrée de l'eau dans l'hélice annulaire *a d*. sortie de la vapeur. *i*, virole.

La figure 277 représente un élément constitué par l'emmanchement de deux tubes, où l'eau se vaporise de *b* vers *c* dans la rainure hélicoïdale *a a*, avec chauffage à l'intérieur et à l'extérieur du tube. La chaudière représentée par la figure 278 est formée par deux éléments concentriques de ce genre. L'eau, admise en *d*, se vaporise en *e*, se surchauffe en *c'*, et sort en *g*. Enfin, dans certains cas, M. Bethmont enveloppe ses éléments vaporisateurs *a* (fig. 279) entre deux gar-

nitures réfractaires : l'une mince, *b*, pour le protéger de l'oxydation, et l'autre épaisse, *c*, pour y concentrer la chaleur. On parviendrait certainement ainsi à conserver plus longtemps la chaudière mais aux dépens de sa légèreté et du rendement du foyer.

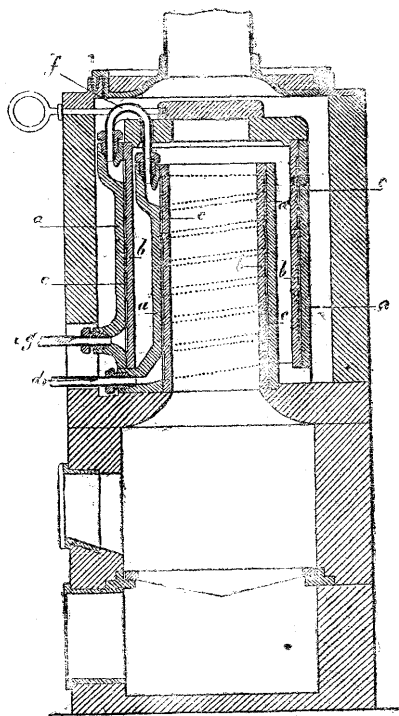


Fig. 278. — Bethmont. Chaudière formée de deux éléments droits (fig. 277), l'un extérieur *a'c'* l'autre intérieur *ac*; où l'eau pénètre par *d*, se vaporise, puis va par *f*, se surchauffer en *a'e'*, et sort à cet état par *g*.

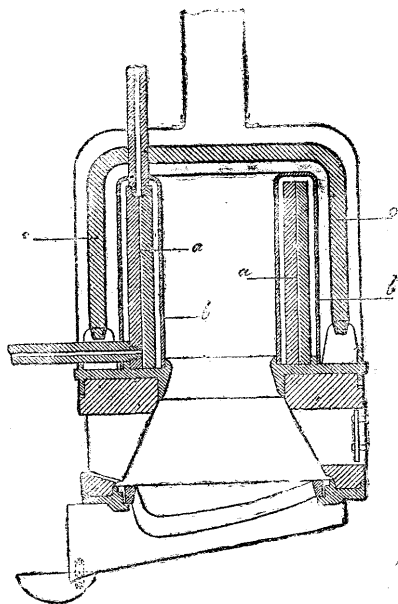


Fig. 279. — Bethmont. Chaudière formée d'un élément droit *aa* protégé par une garde *bb*. *c*, enveloppe calorifuge.

Les chaudières à vaporisation instantanée ont été proposées depuis longtemps par de nombreux inventeurs, sous une foule de formes parfois étranges, qui n'ont jamais répondu à leurs espérances (¹). C'est plutôt à titre de curiosité que je citerai le vaporisateur représenté par les fig. 280, et proposé en 1885 par M. Buisson. L'eau, injectée par l'extrémité capillaire *e* du tube *C* au fond d'une masse de grenaille de fer cuivrée et portée au rouge, fournissait en *D* de la vapeur surchauffée. — Reste à savoir pendant combien de temps la grenaille cuivrée se prêtait sans s'oxyder ni s'agglutiner à cette production de vapeur.

1. N.-P. Burgh Boilers practically considered London, Spon. 1872.

Quand à la chaudière de M. *Chameroy*, elle était constituée par le prolongement du cylindre même du moteur A, très épais, plongé dans le foyer, et qui recevait, au fond de course de son piston, une injection d'eau vivement in-

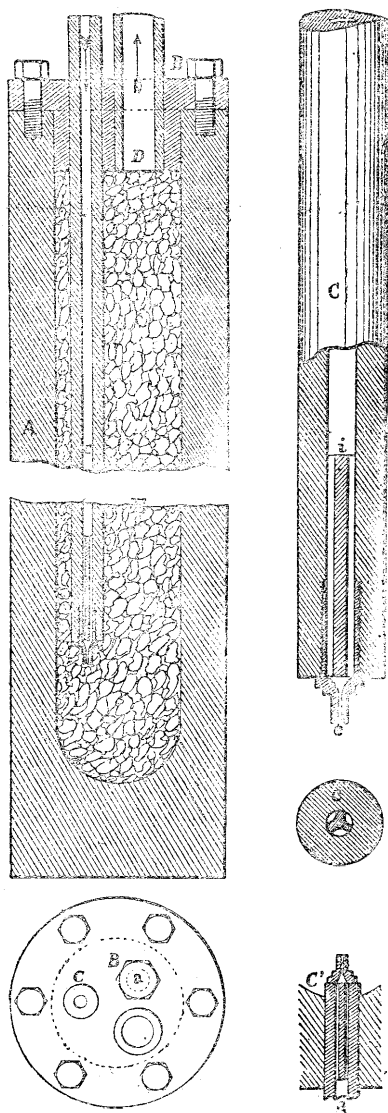


Fig. 280. — Buisson. Vaporisateur à limaille cuivrée.

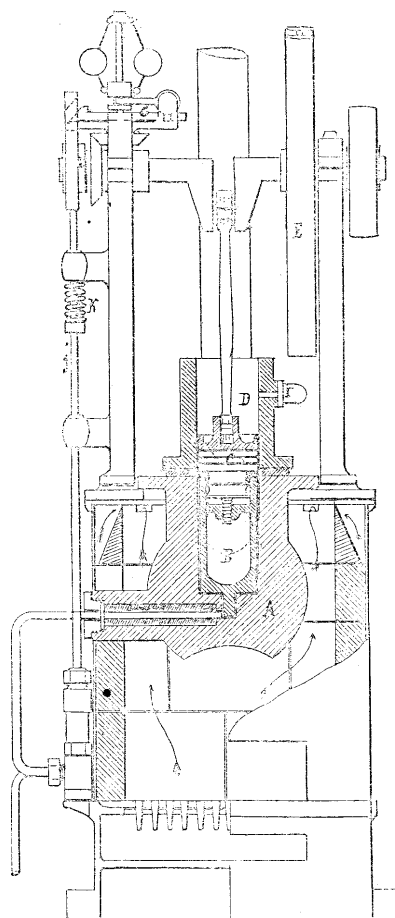


Fig. 281. — Chameroy. Moteur à cylindre vaporisateur. A D, cylindre dont la partie A, très épaisse et non alésée plonge dans le foyer et est séparée de la partie alésée D par un joint calorifuge. B, plongeur libre dans A et faisant suite au piston étanche c. j, tige de la pompe alimentaire déclanchée par G F, et vivement repoussée par le ressort K au moment où B est au bas de sa course, de manière à injecter alors en A l'eau nécessaire pour une course motrice. I, échappement.

roduite par le déclanchement d'une pompe à ressort soumise au régulateur. On peut craindre avec ce dispositif une certaine irrégularité de marche et l'incrustation du cylindre D, malgré le plongeur B qui le sépare de A.

MOULINS A VENT

L'origine des moulins à vent est, comme on le sait, des plus anciennes. On trouve en effet, dans les « *Spiritualia* » de Héron d'Alexandrie, la description d'un moulin à vent employé à manœuvrer la pompe ou le soufflet d'un orgue. Malgré la date très reculée de leur origine, les moulins à vent ne se sont guère répandus en Europe que depuis les croisades, et ils y sont restés pendant bien longtemps à peu près dans leur état primitif, sans doute parce que la force du vent est fournie presque gratuitement, et que, dans la plupart des anciennes applications des moulins, la dépense de l'établissement des ailes ou du moteur proprement dit est presque toujours négligeable à côté de la construction de la tour du moulin, qui renferme la petite usine, et, parfois, le logement du meunier.

Il n'en est plus de même pour les moulins de faible force, ou même de forces moyennes, destinées souvent à des installations privées, pour commander des pompes de jardin, par exemple. — Il faut, en effet, alors une machine légère, tout en étant robuste et rustique, d'un faible frottement, facile à s'orienter au vent et pourvue des dispositions indispensables pour proportionner la surface active des ailes à la puissance du vent, et, au besoin, les ployer ou les défiler complètement devant la tempête.

On est arrivé, pour satisfaire à ce *desideratum*, à construire des moulins à vent tout à fait différents des anciens, sans tour, avec les ailes absolument en plein air, tournant au moindre souffle, pourvus de mécanismes de réglage parfois très ingénieux. Ces appareils, la plupart d'origine américaine, fonctionnent par milliers aux États-Unis, et sont encore peu usités chez nous.

Avant d'en entreprendre la description, je rappellerai très sommairement les principaux faits généraux établis par la théorie et par la pratique des moulins à vent.

La théorie complète des moulins à vent est des plus difficiles. On en trouvera l'exposé dans le *Cours des Machines* (1) de M. *Haton de la Goupillière*. Voici les conclusions auxquelles arrive ce savant ingénieur, après une discussion complète de la question :

Si l'on désigne par φ l'angle d'une latte des ailes avec la vitesse du vent u , ou avec l'arbre des ailes, par r sa distance à l'arbre des ailes, et par ω leur vitesse

1. 1^{er} volume, p. 574, Dunod, 1889.

angulaire de rotation autour de cet arbre, l'angle φ , qui donne, pour l'élément d'aile accroché à cette latte, le travail maximum, est défini par la formule

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{3}{2} \frac{\omega r}{u} + \sqrt{\frac{q}{4} \left(\frac{\omega r}{u} \right)^2 + 2}.$$

On voit que cet angle doit varier d'une latte à l'autre suivant sa distance r à l'arbre des ailes; la dernière latte, située à l'extrémité R de l'aile, pour laquelle

$$\omega R = au$$

sera inclinée sur l'arbre d'un angle φ_1 tel que

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{3}{2} a + \sqrt{\frac{q}{4} a^2 + 2}.$$

La valeur de $a = \frac{\omega R}{u}$ varie de 2,5 à 2,7: c'est-à-dire que, dans la pratique, la vitesse des ailes à la circonférence varie de 2,5 à 2,7 fois la vitesse du vent.

Quant aux lattes intermédiaires entre la première et la dernière de chaque aile, leur inclinaison est donnée par des formules très complexes, que l'on peut remplacer, en pratique, en prenant pour a la valeur

$$a = \frac{8}{3} = 2.67.$$

par l'expression simple

$$\operatorname{tg} \varphi = 4 \frac{r}{R} + \sqrt{16 \left(\frac{r}{R} \right)^2 + 2}.$$

On obtient, en donnant successivement à chacune des lattes l'inclinaison spécifiée par cette formule, une surface gauche dont le premier élément, correspondant à un rayon nul ($r = 0$), fait un angle φ_0 donné par l'expression

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \sqrt{2} \text{ d'où } \varphi_0 = 54^\circ, 45.$$

et dont la latte extrême, pour laquelle $r = R$ est inclinée de φ_1 , donnée par la formule

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = 4 + \sqrt{18}. \quad \varphi_1 = 83^\circ, 7'.$$

La surface des ailes tendues sur les lattes de φ_1 à φ_0 présente donc un gauche de

$$\varphi_1 - \varphi_0 = 28^\circ 22'$$

Le travail T, que peut développer une roue de moulin à vent, est à très peu près, proportionnel au produit de la surface S des ailes par le cube de la vitesse u du vent, de sorte qu'il est donné par la formule

$$T = K S u^3$$

K étant un coefficient empirique.

Si l'on prend $K = \frac{1}{3}$

$$T = \frac{Su^3}{3} \quad (a)$$

S étant la surface de toile en mètres carrés,

u la vitesse du vent en mètres par seconde,

La force en chevaux est alors donnée par la formule

$$N = 0,0045 Su^3$$

La vitesse du vent est extrêmement variable ; dans nos contrées, elle atteint souvent, en tempête, 20 mètres par seconde, ce qui correspond à une pression de 60 kilogrammes environ par mètre carré normal à sa direction. Dans les tornados, elle peut atteindre 70 à 80 mètres, et des pressions irrésistibles, allant jusqu'à 500 kilogrammes par mètre carré.

On ne connaît pas encore la loi qui lie la pression p au vent, à sa vitesse u , mais on obtiendrait des résultats à peu près exacts par la formule

$$p \text{ en kil. par mètre carré} = 0,15 u^2$$

Un bon vent de marche normale : $u = 9$ à 10 mètres, donne une pression p d'environ 10 kilogrammes par mètre carré.

Quant à l'inclinaison de u ou du vent sur l'horizon, elle varie de 8 à 15° : là, l'habitude d'incliner, dans les grands moulins, l'arbre des ailes d'une dizaine de degrés.

L'une des principales conséquences de la formule (a) est que la puissance des moulins, ou, plus exactement, l'action du vent sur les moulins, augmentant très vite avec la vitesse du vent, et cette vitesse variant entre des limites très étendues — 4 à 15 mètres par seconde en moyenne — les moulins seront toujours beaucoup trop forts pour la plus grande vitesse industriellement utilisable, et trop faibles pour la plus petite, dont on veut toujours profiter. De là, l'aspect encombrant et lourd de la plupart de ces appareils, auxquels on ne peut parer qu'en partie par la régularisation des ailes. Cette régularisation agit en modifiant la surface ou l'inclinaison des toiles, ou encore l'orientation même du moulin. Autrefois, même dans les plus grands moulins, le réglage des toiles s'opérait en les carguant à la main, après avoir arrêté le moulin : c'était une manœuvre lente et parfois périlleuse. Actuellement, ce réglage est presque toujours automatique, et c'est son application qui constitue le principal progrès des moulins modernes. Les moulins américains se distinguent en outre par un autre progrès : le remplacement des quatre ou six ailes classiques de nos grands moulins par une multitude de petites ailettes droites, occupant presque toute la surface décrite par la partie utilisable de la roue des ailes (1).

1. Principe indiqué par *Medhurst* dès 1799, (brevet anglais n° 2299).

La plupart de ces perfectionnements ont été indiqués, et quelques-uns même exécutés par de nombreux inventeurs, notamment, en France, par *Amédée Durand*, en 1836 ⁽¹⁾, et en Angleterre par *Andrew Meikle*, en 1780 ⁽²⁾, et *Sir William Cubbit* ⁽³⁾, mais ils ne sont guère répandus que depuis une trentaine d'années, à la suite du développement extraordinaire de l'industrie des moulins à vent aux États-Unis.

Moulin Corcoran.

L'un des plus anciens, et encore des plus répandus parmi ces moulins, est celui de M. *Corcoran*, bien connu sous le nom de moulin *Eclipse*, et construit à Paris par M. *Beaume*. Ainsi qu'on le voit dans les figures 180 et 181, la roue,

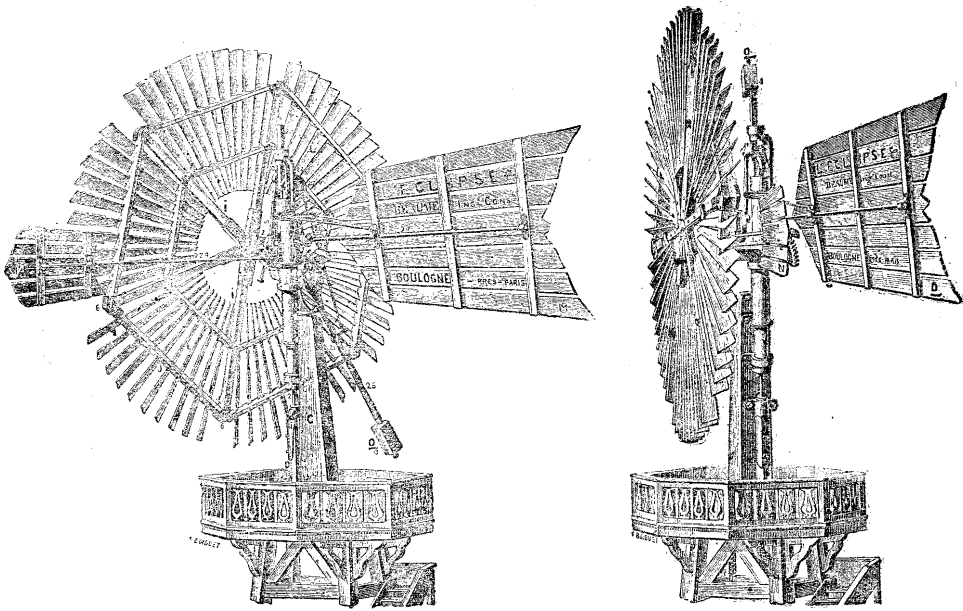


Fig. 280 et 281. — Moulin *Eclipse* en plein vent et défilé.

du type en rosette, peut tourner autour de l'axe du moulin indépendamment du gouvernail principal D, qui reste toujours parallèle à la vitesse du vent. C'est un second gouvernail N, parallèle à la roue, qui, dès que le vent augmente

1. *Haton*. — Cours de machines, vol. II, p. 569.

2. *Appleton*. — Cyclopaedia, vol. 2, p. 931.

3. *Rankine*. — Machines à vapeur. Dunod. p. 231. Brevet anglais 3041 de 1807. Voir aussi les brevets anglais *Wiseman*, 1339 de 1783, et *Hilton et Mead*, n° 1484 et 1628 de 1785 et 1787, et les brevets français de *Dellon et Formis*, 75200 de 1867, *G. de Laguerenne* 91571 de 1871. *Lepaute* 137870 de 1880.

oriente la roue de la direction (fig. 280) à la direction (fig. 281) correspondant à un vent très violent, et dans laquelle la roue ne présente plus au vent que sa tranche. Cette orientation s'effectue malgré la résistance du contrepoids Oq , qui se soulève à mesure que la roue s'oblique au vent, mais avec un moment décroissant vers les grandes obliquités. Ce mécanisme, suffisamment efficace, est remarquable par son extrême simplicité et sa grande durée, conditions essentielles en pareil cas. Les ailes de la roue sont constituées par une série de lames ou d'ailettes en sapin, obliquées, de manière à se recouvrir en partie, et de largeur augmentant vers la circonférence. Quant à l'arrêt du moulin, on peut le commander du bas de son poteau au moyen d'une pédale qui actionne le contrepoids O . Enfin, la position variable du contrepoids O sur son levier, permet de régler entre des limites assez étendues la vitesse normale du moulin.

M. Beaume a lui-même apporté à ces moulins quelques perfectionnements que l'on comprendra facilement d'après les extraits suivants de ses brevets (¹).

L'un de mes principaux perfectionnements porte sur le graissage du mécanisme. Il consiste (fig. 282 à 284) à creuser le support ou palier a de l'arbre moteur b , de manière à former un réservoir d'huile, dans lequel plongent des godets c , formés ou rapportés sur une bague qui se fixe sur l'arbre, de préférence comme l'indique la figure 286. Ces godets recueillent l'huile, lorsqu'ils sont à la partie inférieure du support, et le déversent latéralement sur l'arbre b , où elle se répartit convenablement par la rotation; à cet effet, les godets c sont percés de trous d sur les côtés. Un logement est ménagé dans le support pour le passage de ces godets, comme on le voit (fig. 282), qui montre également l'orifice e pour l'introduction de l'huile dans le réservoir.

Pour le graissage de la tête de la bielle f , j'y ai ménagé une cavité contenant la matière lubrifiante dans laquelle tourne un disque g , (fig. 284) qui la distribue convenablement sur les surfaces de frottement.

J'ai imaginé aussi une nouvelle disposition de montage de la bielle, qui me permet de donner une durée plus longue à l'effet utile exercé par le mécanisme sur le piston.

Dans ce but, au lieu d'atteler directement la bielle f sur la tige h du piston, je la relie à un bras double i , articulé lui-même à un point fixe k , appartenant au support du mécanisme (fig. 282 et 283). Les deux branches du bras i sont réunies par une entretoise l ; la bielle est articulée à l'extrémité de la branche supérieure; tandis que la tige h du piston est articulée à l'extrémité de la branche inférieure.

Dans le spécimen représenté, et par l'examen de la figure 283, on voit que l'entretoise l , et par conséquent la ligne qui joint les deux points d'articulation de la bielle et de la tige du piston, est inclinée de 10° sur la verticale; par suite de cette disposition, l'effet utile sur la tige du piston se produit entre le moment où les deux extrémités de la bielle f et l'articulation de la tige du piston se trouvent sur une même ligne, c'est-à-dire, dans la position inférieure, 10° à gauche de la verticale, et dans la position supérieure, 10° à droite. En supposant le mouvement dans le sens de la flèche (fig. 283), il y aura donc mouvement ascendant de la tige du piston pendant 200° de la course de la bielle, la pompe élévatrice étant à simple effet, tandis que le mouvement de descente n'aura lieu que pendant 160° . Cette amplitude n'a d'ailleurs rien d'absolu, et je me réserve de varier l'angle de l'entre-

1. Brevets français 156270 de 1883 et certificats de 1885 et 1887.

toise l avec la verticale, suivant les différents cas de la pratique. Le tracé ponctué de la figure 283 montre graphiquement le mouvement qui vient d'être décrit.

Le tube creux m est arasé à la hauteur de la base du support pour permettre le logement du bras i et son oscillation autour du point k .

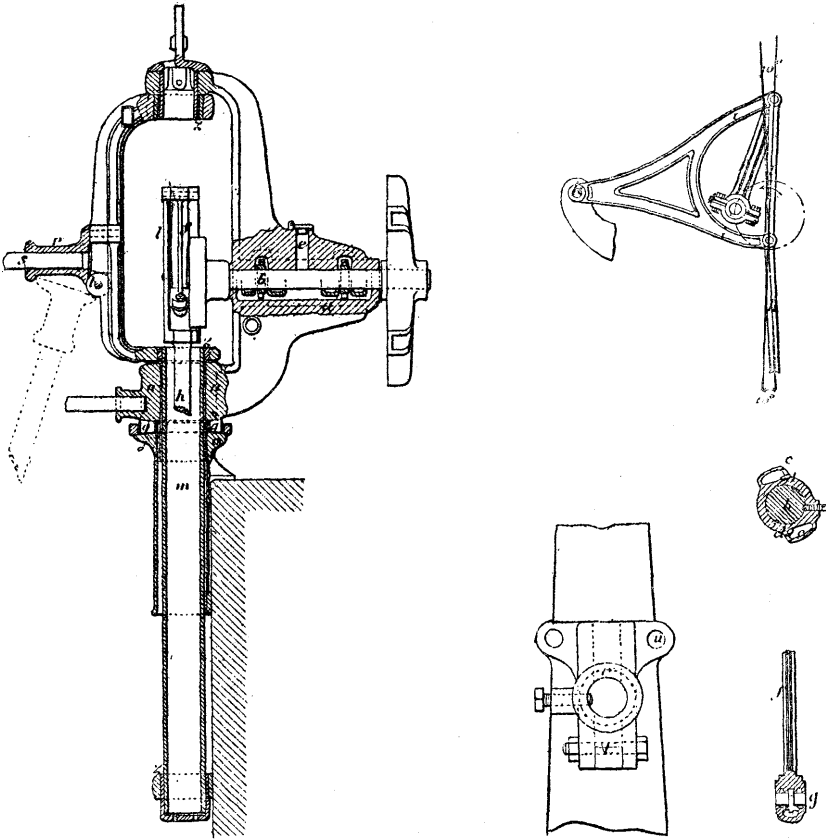


Fig. 282, 283 et 284. — *Moulin Eclipse* de 1883, coupe verticale par l'axe du mécanisme, détail du montage de la bielle, manchon portant l'axe de la girouette et détail du graissage de l'arbre moteur.

b , arbre moteur commandant la tige de la pompe h par le mécanisme égaliseur fil ; s , girouette ou gouvernail montée dans un manchon r , à charnière t , fixé par des boulons u ; cc godets de graissage de l'arbre b ; qq , galets de roulement maintenus dans une couronne p (fig. 286) et supportant le mécanisme guidé par rr .

Jusqu'à présent, le support n du mécanisme tournait à frottement dans une gorge pratiquée à la surface supérieure du manchon, ce qui donnait lieu à une usure assez sensible. J'ai remplacé cette disposition par une couronne (fig. 286), munie de logements intérieurs p , dans lesquels fonctionnent les galets q (fig. 282); ces galets, légèrement coniques, reposent sur la surface supérieure du manchon o , et reçoivent la partie inférieure du support tournant n . J'évite donc, par cette disposition, l'usure rapide des surfaces de frottement, tout en rendant le mouvement plus doux. C'est également à cause de l'usure que j'ai appliqué sur le tube creux m ,

entre les parties à frottement, des bagues métalliques z , pouvant se remplacer plus aisément et à moins de frais que le manchon ou tout autre pièce du mécanisme.

Pour faciliter le montage ou mise en place de la girouette, pièce pesante et assez encombrante, qu'on était obligé d'élever à sa position à bras d'homme, j'ai monté la douille r , fig. 284 qui porte l'arbre ou queue s de la girouette, sur le support du mécanisme, au moyen d'une charnière t , qui permet de rabattre cette douille et d'y introduire la queue s de bas en haut; le tout est ensuite relevé et fixé au support au moyen de boulons passant dans les oreilles u .

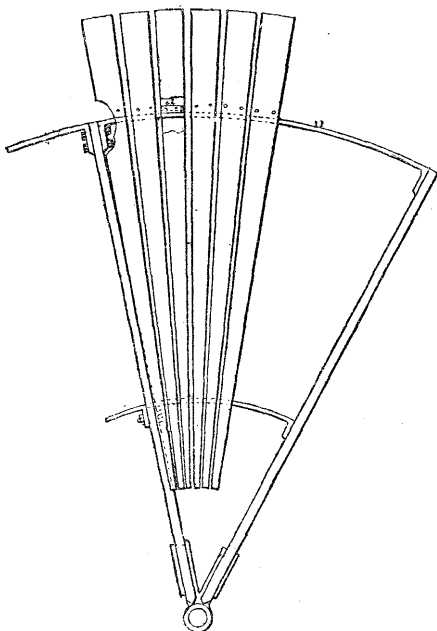


Fig. 285. — Moulin Eclipse de 1883. Détail du montage des palettes de la roue.

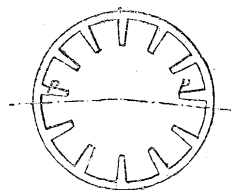
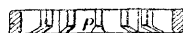


Fig. 286. — Moulin Eclipse de 1883. Couronne de galets portant le mécanisme.

Enfin, les palettes de la roue motrice sont montées sur des traverses v , cintrées au lieu d'être rectilignes, et elles sont fixées au moyen de boulons sur des pièces métalliques x (fig. 285), qui donnent à ces palettes l'inclinaison voulue et en facilitent le montage, le démontage ou le remplacement, sans qu'il y ait à déranger l'armature de la roue ou les palettes voisines.

Les perfectionnements apportés à la construction de la roue motrice du moulin — en 1885 — consistent principalement à remplacer les rayons en bois par des rayons en fer L , (fig. 287 à 289), qui sont fixés à un plateau central M , au moyen des goupilles N et de vis de pression P (fig. 287); ces rayons, indiqués au dessin en fer creux, peuvent être en fer à T ou en cornières, suivant le cas. Sur ces rayons en fer sont fixées des portions de cercles en fer (fig. 289), par l'intermédiaire des douilles S et des boulons T ; sur les cercles R sont fixées, au moyen des boulons U , des équerres en métal V , sur lesquelles sont attachées les ailes en bois par les vis.

Les tringles W sont des raidisseurs reliés aux rayons L par les colliers Z , et attachés à un plateau central I , autour duquel ils rayonnent; ces raidisseurs donnent une grande résistance à la roue.

Les figures 290 et 291 représentent l'ensemble des organes à lubrifier, partie en coupe et disposés de manière à effectuer un graissage automatique de la partie supérieure de la bielle. J'obtiens ce résultat de la manière suivante : La bielle A se termine par un assemblage en deux pièces, semblable à celui du tourillon de la manivelle, et vient s'articuler sur une languette *b*, venue de fonte avec la traverse B,

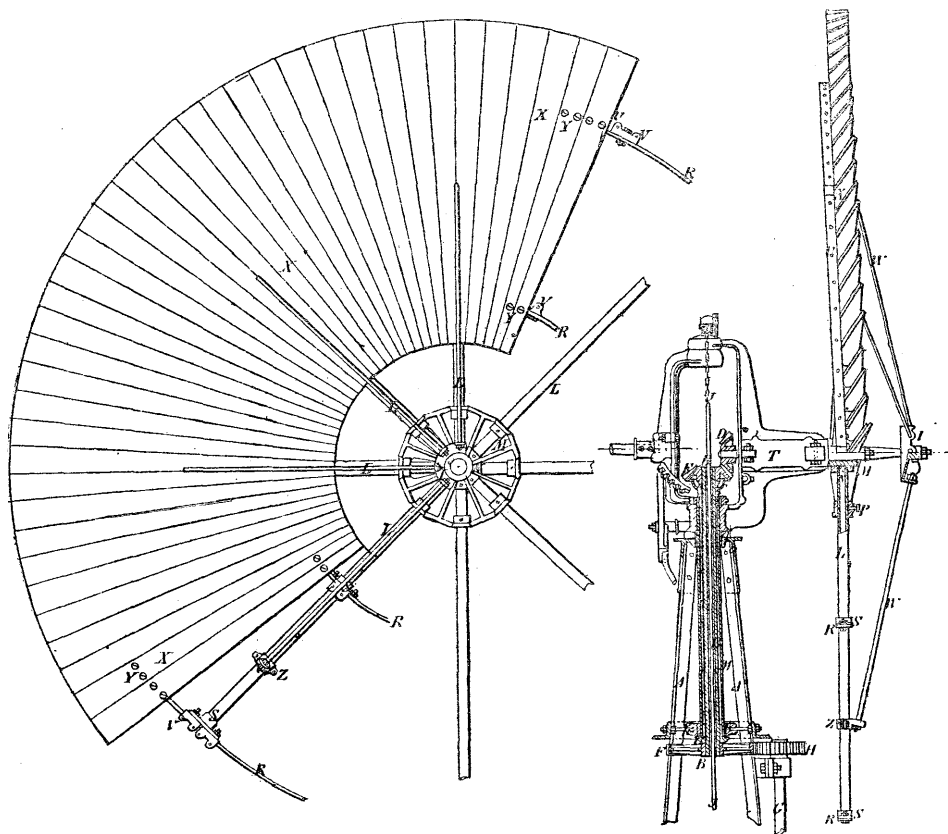


Fig. 287 et 288. — *Moulin Eclipse* de 1885. Ensemble de la roue et du mécanisme de transmission. A, montant de la charpente, O, tête de charpente à galets *g*, sur laquelle tourne le moulin, B, arbre creux tournant dans les bagues en bronze C du tube M. DE, transmission de l'arbre moteur T, à l'arbre B. FH, transmission de l'arbre B à l'arbre G, J tringle d'orientation passant dans l'arbre B. RR, cercle de la roue (fig. 289) WZ, armature de la roue.

portant de chaque côté deux tiges cylindriques *c* et *c'*, qui maintiennent le mouvement rectiligne en passant dans des guides alésés C et C', terminés à leur partie inférieure par de longs récipients remplis d'huile et dans lesquels viennent plonger les tiges chaque fois qu'elles arrivent à fond de course. La languette *b* vient se loger dans une cavité ménagée dans la bielle en passant au travers du chapeau par une mortaise d'égale épaisseur, mais assez longue pour laisser au mouvement l'amplitude nécessaire; tout autour de la partie supérieure de la bielle est venue de fonte une enveloppe formant réservoir de telle manière que la languette, son axe et le chapeau sont continuellement baignés dans l'huile, sans qu'aucune goutte de celle-ci

puisse se perdre par les joints d'ajustement; il en est de même des tiges *c* et *c'*, qui, à chaque révolution de la manivelle, plongent dans l'huile, laquelle retombe

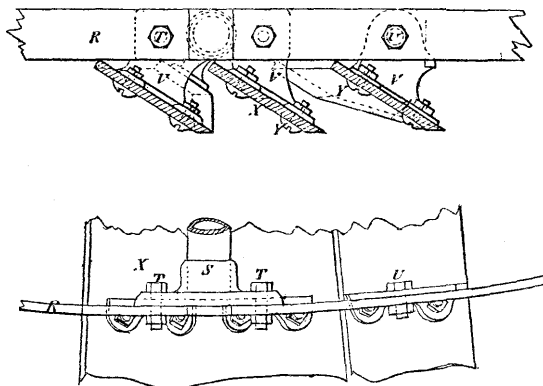


Fig. 289. — *Moulin Eclipse* de 1885. Assemblage de la roue. S douilles des bras en fer, L (fig. 287) fixés au tourteau central M par des vis P. R cercle extérieur de la roue retenant les douilles S par des boulons T. U boulons fixant les équerres en fonte V, sur lesquelles les ailes en bois Y (fig. 287) sont attachées par des vis X.

toujours dans les récipients qui terminent les guides C et C'; ces récipients sont munis d'un bouchon métallique pour en permettre le nettoyage.

La tringle D, qui actionne les appareils élévatoires, reçoit le mouvement recti-

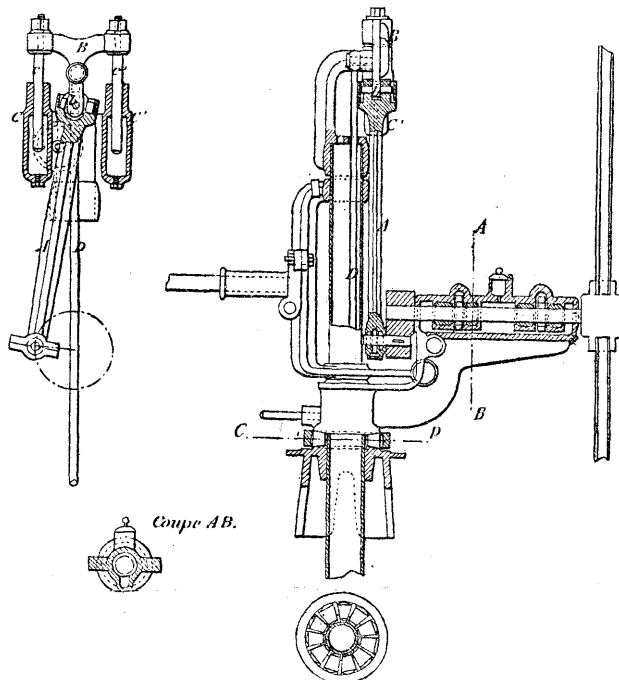


Fig. 290 et 291. *Moulin Eclipse* de 1885. — Détail de la bielle motrice et du graissage. Coupes AB et CD.

ligne du système en s'attachant à la traverse B, au-dessus de la languette, en passant à côté de la bielle, sans gêner son évolution. Il ne reste donc plus un seul organe du moteur qui ait besoin d'être graissé journellement à la main; la capacité des récipients contenant l'huile est assez grande pour que mes appareils fonctionnent des mois entiers sans qu'on s'en occupe; les frais d'entretien sont pour ainsi dire supprimés.

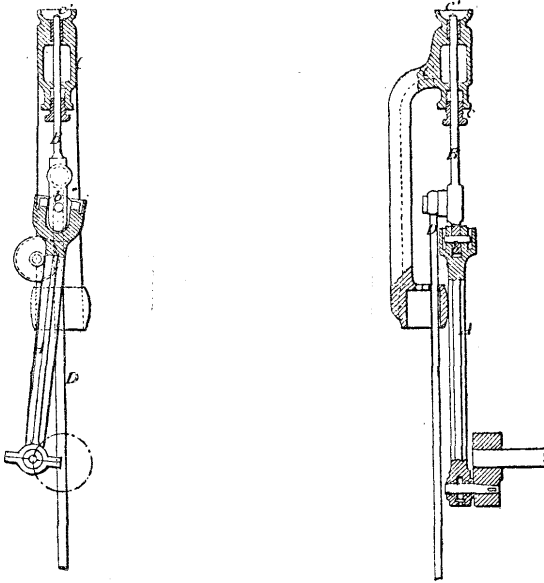


Fig. 292 et 293. — Moulin Eclipse de 1885. Variante du graissage.

Les figures 292 et 293 représentent une disposition où la bielle A s'articule de la même manière que précédemment à la languette *b*; mais cette dernière se prolonge par une tige cylindrique B, qui traverse de part en part un guide G, fixé rigidement sur le bâti du moteur. Ce guide est évidé intérieurement pour recevoir une grande quantité d'huile; sa partie inférieure est munie d'un presse-étoupe C, retenant la matière lubrifiante, tout en laissant passer la tige; la partie supérieure est alésée et garnie de métal antifricition; elle porte, en outre, un rebord circulaire *c'*, destiné à recueillir l'huile qui retombe le long de la tige.

De même que dans la précédente disposition, la tige D s'attache au-dessus du point d'articulation de la bielle contre une partie carrée venue de forge avec la languette *a* de la tige cylindrique B.

Dans les figures 294 et 295, la bielle A, toujours pourvue du même système de graissage que précédemment, fonctionne dans l'intérieur d'un cadre E de forme triangulaire, qui se meut exactement dans le plan de son mouvement; la partie inférieure du cadre porte une douille *e*, dans laquelle vient se clavier la tige D qui actionne les appareils élévatoires. Pour assurer le mouvement rectiligne du cadre, ce dernier reçoit à sa partie supérieure la traverse B, munie de deux tiges cylindriques *c* et *c'*, qui plongent dans les guides à récipient C et C' de même forme que dans les figures 290 et 291. Ces guides, rendus solidaires par des nervures venues

de fonte, sont solidement boulonnés sur le bâti du moteur; la traverse B est réunie au cadre d'une manière invariable par un fort boulon traversant une partie conve-

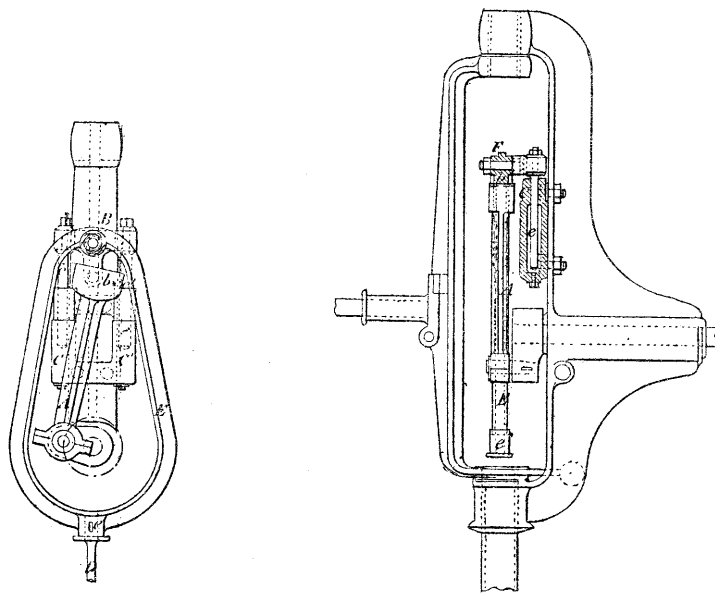


Fig. 294 et 295. — *Moulin Eclipse de 1885*. Transmission par bielle triangulaire.

nablement renforcée. Cette disposition, donnant toutes les garanties du parfait fonctionnement comme graissage et comme solidité, a en outre l'avantage incontestable de transmettre l'effort moteur exactement dans le plan du mouvement de

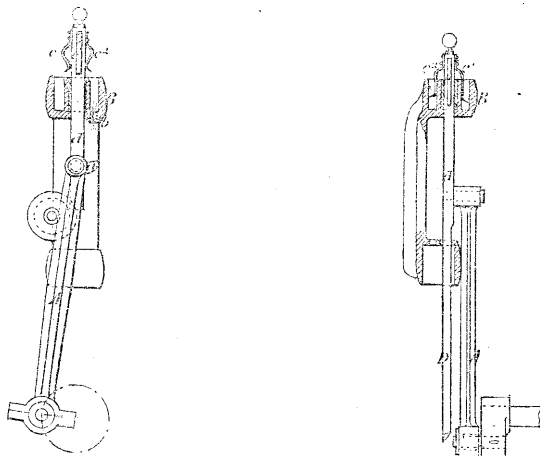


Fig. 296 et 297. — *Moulin Eclipse de 1885*, Transmission par bielle directe.

la bielle, évitant ainsi les dislocations qui se produisent toujours dans les organes placés en porte à faux.

Dans les figures 296 et 297, la bielle A est articulée directement sur la tige D, por-

tant à cette endroit une partie carrée *d*; cette tige carrée traverse un guide B, garni de métal antifricition et environné sur toute la hauteur par une enveloppe venue de fonte, formant un réservoir de forme annulaire, dans lequel viennent plonger à chaque fond de course quatre ressorts *c, c' c², c³*, fixés sur chaque face de la tige. Ces ressorts reprenant la position indiquée (fig. 296), lorsqu'ils sont hors du réservoir, laissent couler contre la tige carrée l'huile qu'ils ont entraînée avec eux; la partie supérieure du guide est en biseau pour faciliter l'introduction des ressorts dans le réservoir.

La bielle A est munie latéralement d'un godet *a* qui, à chaque révolution, vient toucher une mèche traversant un bouchon en bronze *b*, fixé sous le réservoir annulaire; le débit se règle à volonté en tassant plus ou moins la mèche dans son passage à travers le bouchon.

La figure 298 représente un système d'armature en métal mince, appliqué aux extrémités des ailettes en bois mince garnissant les roues de mes moteurs à vent; l'armature A, recouvrant l'ailette sur toutes ses faces, empêche les gerçures de se produire sous l'action des intempéries, et en prolonge ainsi la durée d'une manière indéfinie.

Dans le dispositif de 1887, l'arbre moteur *a* tourne — fig. 299 — dans un coussinet à bagues d'antifricition *b*, maintenues par un anneau d'acier *e*, le tout monté dans une boîte à graisse *d*. La bielle *e*, calée sur la manivelle *f* de l'arbre *a*, est munie à chacune de ses extrémités d'une sorte de réservoir à huile *g*, qui enlubrifie les portées, à chaque tour de manivelle, à l'aide d'un petit disque *h* plongeant continuellement dans l'huile. La tête inférieure de la bielle est animée d'un mouvement rectiligne par un coulisseau *k*, guidé dans la glissière *i*, et plongeant, à chaque tour, dans le bain d'huile *g*.

Les moulins Eclipse sont, comme nous l'avons dit, très répandus aux Etats-Unis, et l'objet d'applications parfois fort importantes, comme le prouve l'extrait ci-joint d'une communication faite, le 9 avril 1884, par M. W. James Hill, à ce sujet (*).

1. *Scientific american*, suppl. 18 juillet 1884, p. 7112 et *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, nov. 1884, p. 514. Chronique de M. Mallet. Voir aussi le livre de Wolff. "The Windmill" 2^{me} Ed. p. 78.

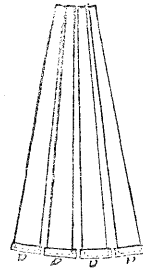


Fig. 298. — Moulin Eclipse de 1885. Roue armée.

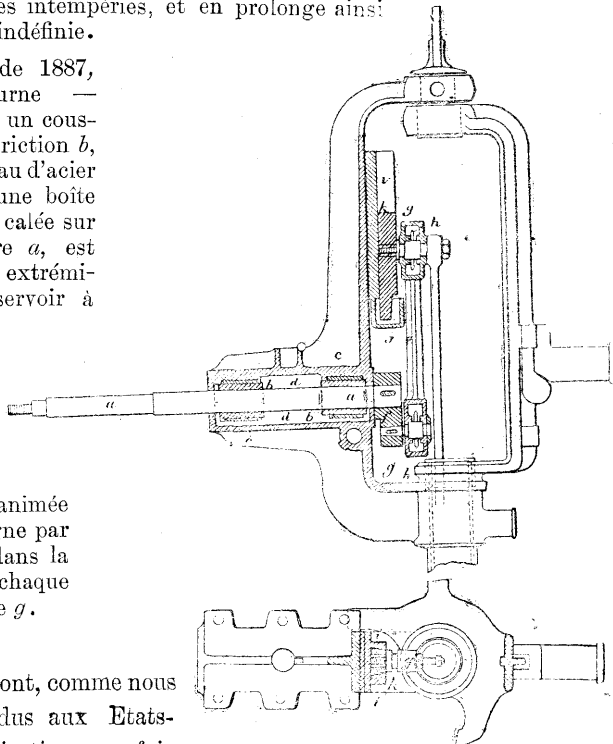


Fig. 299. — Moulin Eclipse de 1887. Détail de la transmission.

Cet appareil est réglé automatiquement par une disposition très ingénieuse consistant en une aile-gouvernail placée latéralement, et qui tend, par conséquent, sous la pression du vent, à faire effacer la roue, mais le déplacement de l'aillette-gouvernail est réglée par l'action d'un levier à contrepoids, de sorte que la roue s'efface plus ou moins suivant la force du vent pour arriver à ne présenter que sa tranche, lorsque le vent devient tellement violent qu'on pourrait avoir à redouter des avaries pour l'appareil; ainsi, un moulin de 6^m,70 de diamètre, qui présente au vent, en travail normal, une surface de 33 mètres carrés, ne lui offre qu'une surface 0^m²,85, lorsqu'il est entièrement effacé.

Ces moulins fonctionnent d'une manière parfaitement régulière, et ont pu supporter sans accident des coups de vent qui ont gravement endommagé des constructions avoisinantes. Ils sont surtout employés pour élever l'eau, et sont très commodes pour les distributions d'eau des villes de médiocre importance.

On peut citer comme exemple Arkansas City, dans le Kansas. On y a établi au printemps de 1881 un moulin à vent de 4^m,30 de diamètre, avec un réservoir de 145 mètres cubes posé sur un massif en maçonnerie de 4^m,50 de hauteur, le sol étant à cet endroit à 1^m,20 en contre-haut de la conduite principale de la ville. La canalisation se compose de 425 mètres de tuyaux en bois de 0^m,10 de diamètre intérieur, et de 360 mètres de tuyaux en fer de 37 millimètres. Il y a sur la conduite principale trois bouches à incendie de 75 millimètres. Le moulin est à 330 mètres du réservoir, et monte l'eau à 16 mètres d'élévation. Il donne de 80 à 90 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Cette installation a déjà servi à éteindre deux incendies; l'eau sert à l'arrosage des rues et à l'alimentation des maisons dans des conditions remarquables de bon marché; les maisons particulières payent 25 francs par an, les magasins 25 francs, les hôtels 50 francs, etc. Ces taxes produisent un revenu annuel de 1,500 francs à la ville. Comme l'installation complète n'a coûté que 10,000 francs, le revenu brut se trouve être de 15 pour 100. Il faut ajouter que l'entretien n'a pas coûté, jusqu'ici, 25 francs par an.

En juin 1883, il a été fait une installation du même genre à Mac-Pherson, Kansas. Le moulin, de 6^m,60 de diamètre, est disposé sur une tour de 22 mètres de hauteur, et élève l'eau d'un puits de 24 mètres de profondeur dans un réservoir de 275 mètres cubes placé sur un soubassement en maçonnerie de 13 mètres de hauteur. La canalisation se compose de conduites en fonte, dont 480 mètres de 0^m,25 et 90 mètres de 0^m,100. Il y a dans les rues principales huit bouches à incendie de 60 millimètres. On a pris une excellente précaution, qui consiste à placer la vanne de prise d'eau des conduites à la moitié de la hauteur du réservoir, de sorte qu'il reste toujours dans celui-ci la moitié du volume pour le cas d'incendie; une vanne spéciale, placée au fond du réservoir, sert pour ce cas spécial. Le moulin donne de 130 à 170 mètres cubes d'eau pour vingt-quatre heures. La distribution d'eau complète a coûté 30,000 francs.

Au mois de novembre 1883, on a installé un mouvement à vent sur une houillère à Richmond, dans des conditions particulières que voici: la mine donne environ 50 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures; le puisard peut contenir un volume de égal, deux galeries qu'on peut barrer emmagasinent 175 mètres cubes, de sorte qu'on peut avoir une capacité totale de 125 mètres cubes comme réservoir, quand le moulin ne marche pas; cette quantité représente la production de soixante heures. La hauteur moyenne d'élévation est de 20 mètres. Des observations de quatre-vingt-dix jours, il résulte que la mine a toujours été tenue à sec, sauf une vingtaine de mètres cubes qu'on a dû enlever dans des bennes qui servent à monter le charbon. Il faut dire que l'emplacement était très favorable pour un moulin à vent, celui-ci se trouvant dans un fond abrité par des collines. De plus, l'eau de la mine contenait du sable qui usait le corps de la pompe si rapidement qu'après quelques jours le volume d'eau débité était sensiblement réduit.

Les localités sont situées plus ou moins avantageusement pour l'emploi des moteurs à vent. Il a été fait des observations très suivies pour Saint-Louis. On a trouvé qu'en 1881 la répartition des vents d'une vitesse de 10 à 32 kilomètres à l'heure s'était faite de la manière suivante :

Vents de 10 kilomètres au moins			7,024 heures
—	13	—	5,529 —
—	16	—	3,981 —
—	20	—	2,995 —
—	23	—	1,946 —
—	26	—	1,335 —
—	29	—	868 —
—	32	—	606 —

La vitesse maxima du vent pendant toute l'année a été de 60 kilomètres, et c'est au mois de mars qu'elle s'est produite ; après, vient le mois d'août ; le minimum s'est produit au mois de juillet. En somme, l'année en question a donné 7,000 heures avec un vent pouvant actionner un moulin, soit *tout près des quatre cinquièmes de l'année*. Or, Saint-Louis ne peut passer pour une localité très exposée au vent. Les observations qui viennent d'être reproduites ont été obtenues avec l'anémomètre du *Signal Office* des États-Unis.

Ces moulins sont également très employés dans les fermes pour battre, nettoyer et moudre les grains, élever l'eau, actionner des scieries ; etc., on emploie avec eux des transmissions téléodynamiques.

Les moulins à roue pleine ne se construisent pas au-dessus de 10 mètres de diamètre ; pour de plus grandes puissances on emploie le type dit *Warwick*.

Un appareil de ce genre, de 18 mètres de diamètre, établi dans le Minnesota en 1867, fonctionne très bien, même avec des vents de 25 kilomètres de vitesse ; il a eu à subir deux cyclones, l'un en 1870, l'autre en 1881. À part ces deux accidents, qui ont causé chacun un arrêt d'un mois et une dépense de 1,200 francs, l'appareil n'a pas coûté plus de 50 francs par an d'entretien. Le propriétaire, qui employait avant un moteur hydraulique, dit que ce moteur lui avait coûté comme réparation autant en six ans que le moulin à vent en seize ans.

Ces engins ont rendu de très grands services dans l'immense plateau qui s'étend entre la vallée du Mississippi et les Montagnes Rocheuses, du golfe du Mexique à la rivière Rouge du Nord ; on n'y trouve l'eau qu'à des profondeurs au-dessous du sol, variant de 30 à 150 mètres. L'eau montée par ces moulins permet d'élever dans ces plaines de grandes quantités de bestiaux ; cette eau, tirée d'une certaine profondeur, a l'avantage très apprécié d'être toute l'année à la même température, et, par conséquent, d'un usage beaucoup plus sain pour les animaux.

Moulin Halladay.

Dans le moulin *Halladay*, construit par M. Schabaver, de Chartres, ce n'est pas la roue toute entière qui s'oriente sous le vent pour en diminuer la surface active, mais chacun des éléments, chaque ailette de cette roue qui s'incline en se rapprochant d'autant plus du parallélisme à l'arbre que le vent est plus fort. L'agent qui détermine cette inclinaison n'est pas, comme dans l'appareil précédent, un gouvernail auxiliaire, mais la force centrifuge développée par la rotation même de la roue sur des masses mobiles disposées à sa circonférence.

Nous empruntons la description d'un moulin de ce système au *Portefeuille des Machines* de mai 1886 (1).

Ce moulin est représenté en élévation et en profil par les fig. 300. L'appareil peut s'installer sur une tour de maçonnerie ou sur une charpente en bois ou en fer. Nos dessins donnent le cas d'un pylône en fers plats et cornières terminé par une plate-forme où l'on accède au moyen d'une échelle. Quatre boulons fixent cette construction sur une solide fondation, par les quatre sabots en fonte qui en forment la base.

Deux montants verticaux A, en fer, en U, portent une couronne fixe en fonte B, qui sert de chemin de roulement à cinq galets D, montés tous sur une couronne mobile C. Quatre galets verticaux E pendent de la couronne C et embrassent le rebord inférieur du chemin de roulement B, afin d'empêcher le vent de renverser l'appareil.

La couronne mobile C porte deux paliers horizontaux, qui reçoivent l'arbre F du moulin à vent; sur le prolongement de l'axe des paliers, se trouve un logement dans lequel est boulonnée la barre G du gouvernail. Un hauban H, soutenu par un poinçon en bois, maintient le gouvernail.

La roue, qui reçoit l'action du vent, est calée sur l'arbre horizontal F. Elle se compose d'un moyeu étoilé en fonte portant six logements dans lesquels sont boulonnés les bras I. Des barres en bois K, de section rectangulaire, formant par leur réunion un hexagone régulier, sont pourvues à chacune de leurs extrémités, d'un petit tourillon en fer qui tourne librement dans une douille fixée sur les bras I. C'est dans les barres K, que sont encastrées, avec une inclinaison de 25°, les palettes trapézoïdales de la roue. A leur extrémité intérieure, les palettes sont également en partie encastrées dans une tringle en arc de cercle L. La roue est ainsi formée de six ailes mobiles autour des barres K. A l'extrémité extérieure de l'arbre F, est calé un second moyeu avec six logements inclinés vers la roue. Dans ces logements, sont fixés des bras de force P qui assurent la rigidité des rayons I de la roue. Sauf les deux moyeux, toute la roue est en bois.

A l'une des extrémités de l'arbre F est fixé un plateau-manivelle qui donne à la tige O d'une pompe, un mouvement rectiligne alternatif. L'axe de cette tige, passe par le centre du chemin de roulement. Comme le moulin, en s'orientant dans le vent, au moyen du gouvernail, fait changer le plan du plateau manivelle et celui de l'oscillation de la tige O, on a, pour éviter la torsion de cette tige, disposé en un point de sa longueur le manchon représenté en coupe verticale. Les extrémités voisines des deux tronçons de la tige sont terminées par des portées munies d'épaulements servant de retenue au manchon. La partie supérieure, qui est libre dans le manchon, peut tourner pour suivre le plan du plateau-manivelle sans que la partie inférieure soit entraînée.

Pour régler la surface utile des ailes suivant la force du vent, l'arbre F porte un mécanisme régulateur qui fait tourner chacune des six ailes dont est composée la roue autour des barres K, jusqu'à ce que ces ailes soient parallèles à l'arbre F et n'offrent par conséquent que très peu de prise à un vent violent. Sous l'action de ce mécanisme, les ailes prennent, avec la variation de vitesse du vent, toutes les positions intermédiaires de manière à réduire l'effet utile du vent par suite de l'obliquité qu'elles présentent à sa direction.

Avec le moyeu de la roue, sont venues de fonte, suivant des rayons, six petites fourches Q, sur lesquelles sont articulés des leviers coudés R. A l'extrémité du grand bras de chacun de ces leviers, est suspendue une tige S, portant à son extré-

1. Voir aussi la *Publication industrielle d'Armengaud*, 1884, p. 112, et le *Bulletin de la Société des anciens élèves des Ecoles d'Arts et Métiers*, avril 1885, p. 126.

mité un poids. Les petits bras des leviers coudés R reçoivent chacun une petite bielle d'accouplement T, qui les relie aux bras d'un manchon en fonte U, fou sur l'arbre F. Le manchon U porte une rainure dans laquelle glissent les deux bran-

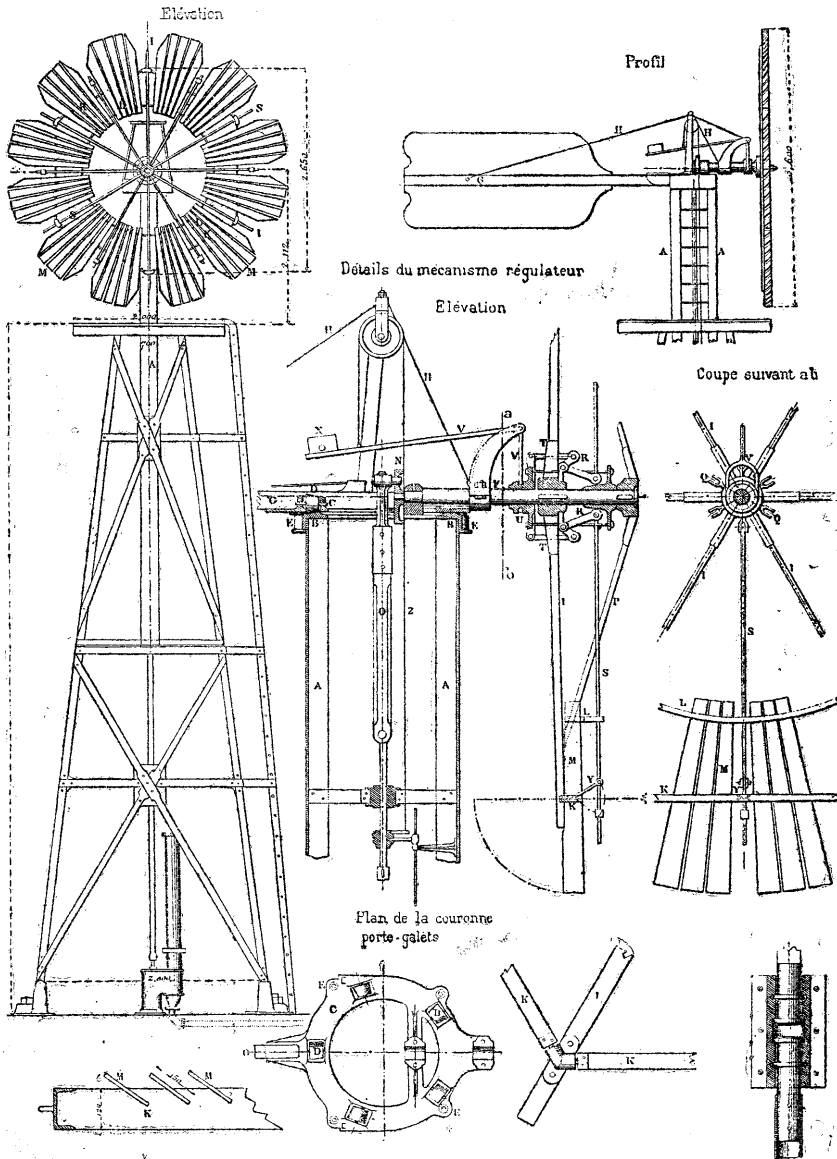


Fig. 300. — Moulin Halladay.

ches d'un levier à fourche coudé V ; l'autre bras de ce levier porte un contrepoids X, suffisant pour empêcher le régulateur de fonctionner par un vent modéré.

La tige S porte l'axe d'une chape Y, fixée au milieu de la barre K, qui porte les palettes des ailes.

Lorsque le vent, devenu trop fort, fait tourner les ailes trop vite, l'effet de la force centrifuge qui est développée par le poids fixé à l'extrémité de chacune des tringles S l'emporte sur l'action du contrepoids X. L'équilibre est rompu, le grand bras des leviers coudés S s'écarte de l'arbre F sous l'action des tringles S, et la chape Y, suivant la course de la tringle à laquelle elle est articulée, fait tourner la barre K sur ses pivots, et incline ainsi les ailes sur l'horizon. Le manchon U est éloigné de la roue par le petit bras des leviers R et les bielles d'accouplement T. Ces mouvements ont d'autant plus d'amplitude que la vitesse du vent est plus grande et, par conséquent, la force centrifuge développée par le poids des tringles S plus considérable. Les ailes entraînées par un vent très fort peuvent devenir parallèles à l'axe F.

Lorsque la vitesse du vent diminue, la force centrifuge qui maintient les ailes inclinées diminue également; l'action du contrepoids X devient alors prépondérante. Le grand bras du levier V s'abaisse, et la fourche de ce levier fait glisser le manchon V vers la roue. Ce mouvement du manchon relève le grand bras des leviers coudés R, la tringle S est rappelée vers l'axe F, et la chape Y se redresse en ramenant les ailes vers la position verticale.

Une chaîne soutient le contrepoids X, s'enroule sur une poulie fixée au-dessus et descend s'attacher à la tringle Z qui permet de régler la position du contrepoids du pied du pylône.

M. Schabaver construit le moulin qui vient d'être décrit suivant différents types, dont les roues à vent ont un diamètre de 2,40 m à 9,15 m. D'après le tableau dressé par le constructeur, le moulin représenté par la fig. 300, dont la roue a 3,60 m de diamètre, marchant sous l'impulsion d'un vent de 4 m, élèverait par minute 100 l d'eau à une hauteur de 5 m, ce qui représente, en eau élevée, un travail de 8,33 kpm par seconde.

Voici quelques exemples de rendements obtenus par M. Shabaver avec des moulins Halladay par des vents de 6 à 7 mètres de vitesse :

Numéros des moulins	Diamètre de la voûre	Force en chevaux	Hauteurs de refoulement	Débits par minute en litres		Localités.	Propriétaires
				Garanti	Obtenu		
1	2 ^m 400	0,50	24 ^m 00	8	23	Toulon (Var)	Giraud
2	3 000	0,70	35 00	13	25	Muret (Haute-Garonne)	Commune
3	3 600	1,00	17 00	30	75	Cassis (Bouches-du-Rhône) en vue de la gare.	Rossat
4	3 900	1,50	8 40	56	250	Siran.	Pigasson
5	4 250	2,00	42 00	60	84	Bages.	Commune
6	4 850	3,50	8 50	155	430	Moussan.	Piquet
7	5 500	3,70	31 00	150	200	Roquefort (Aude)	Commune
8	6 000	4,00	23 00	225	300	Azille (Aude)	Mignard
9	7 600	6,00	8 00	675	905	Carcassonne (Aude)	Alboise fils
10	9 150	8,00	35 00	225	460	Mazanet (Tarn)	Rouvière-Houlès
10	9 150	8,00	19 00	450	860	Castres (Tarn)	Barbaza, frères

Les moulins Halladay peuvent atteindre de très grandes puissances, jusqu'à 40 chevaux avec un vent de 7 mètres et des ailes de 18 mètres, d'après un autre de leurs constructeurs français, M. Picard.

• Moulin Rossin.

L'une des applications les plus fréquentes des moulins à vent aux Etats-Unis consiste dans le service d'alimentation des petites gares de chemins de fer, principalement dans les pays nouveaux et dans ceux où la persistance des vents

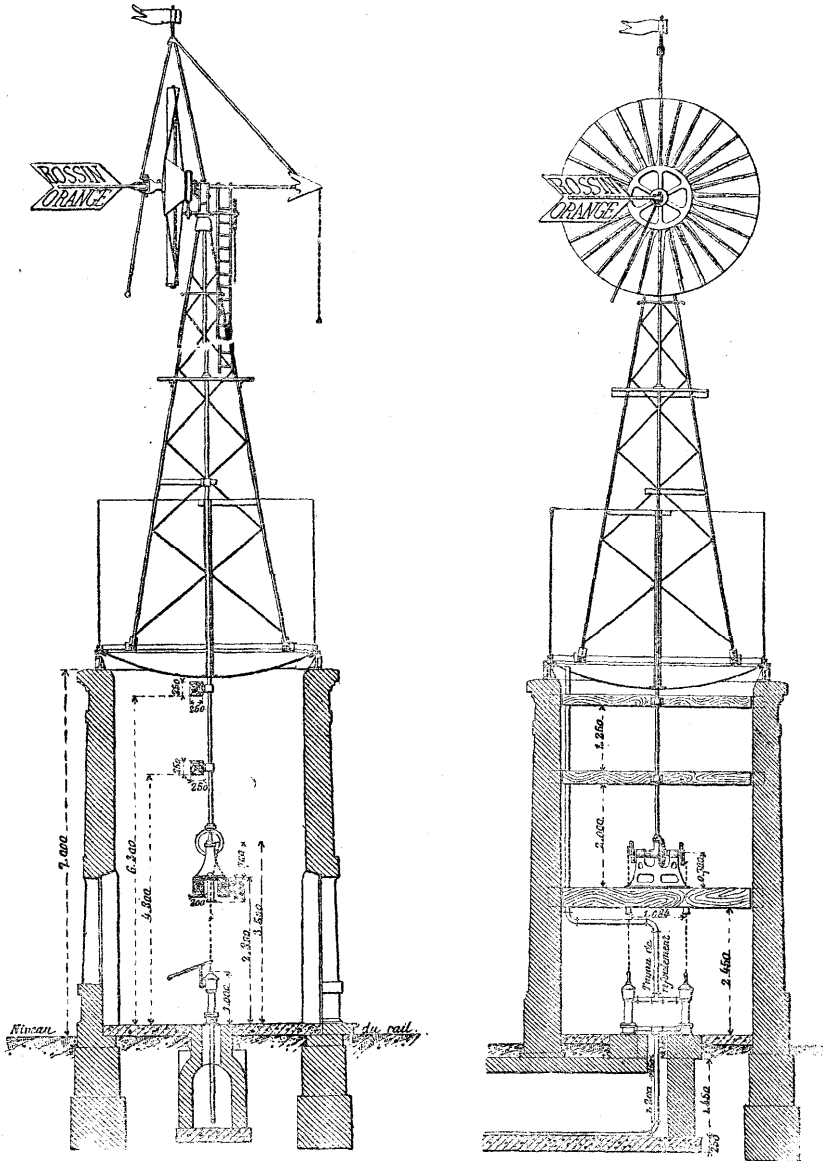


Fig. 301 et 302 — Moulin Rossin, de la gare de Villeneuve-St-Georges,

assure à ces appareils une marche suffisamment régulière. On rencontre, d'ailleurs, en France même quelques applications de ce genre, telle est, par exemple, celle de la gare de Villeneuve-Saint-Georges représentée par les figures 301 et 302 (*).

Ce moulin, construit par M. *Rossin*, est très simple, mais il n'a pas de régulateur automatique. On l'arrête par les grands vents au moyen d'un frein à main, et on cargue ses ailes en tôle au moyen d'un levier qui place le gouvernail parallèlement au plan de la roue. On remarquera que ce gouvernail est placé du même côté de l'axe vertical du moulin que la roue, ce qui rend son action plus sensible. Le moulin de Villeneuve-Saint-Georges fonctionne depuis près de quatre ans sans aucune avarie. Il actionne deux pompes refoulant 4 mètres cubes à l'heure à 16 mètres de hauteur. On rencontre un grand nombre de ces moulins dans la vallée du Rhône, où les vents sont parfois très violents.

Moulin Fustin.

Comme exemple remarquable par sa simplicité, je puis encore citer le petit moulin représenté par les figures 303 à 305, construit par M. Fustin de San-Fran-

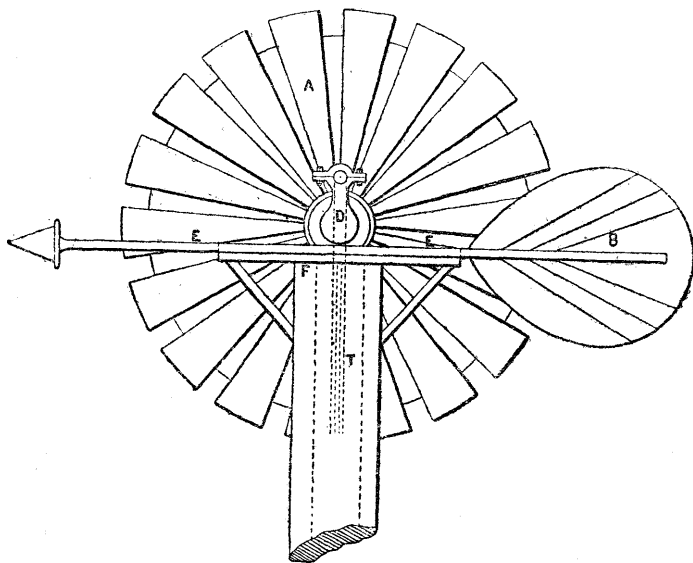


Fig. 303. — *Moulin Fustin*. Vue d'arrière.

cisco. Le gouvernail B dont l'axe est parallèle à la roue, tourne autour des charnières c c. Lorsqu'on veut arrêter le moulin, on dispose, comme en fig. 303, le

1. *Génie Civil*, 16 août 1890.

Moulin Weinberger.

Le prix de revient des moulins à vent, ou le coût de leur cheval-heure varie évidemment dans des proportions indéfinies suivant les systèmes employés, la force et l'utilisation des appareils, la moyenne du vent, etc., de sorte que l'on ne peut fournir à ce sujet aucune donnée générale précise. Je citerai néanmoins les moyennes suivantes, données par M. Wolff ⁽³⁾, comme représentant à peu près les résultats de la pratique si étendue des moulins à vent aux Etats-Unis. D'après cet auteur absolument compétent, le prix du cheval-heure des moulins employés à l'élévation des eaux diminue, comme il fallait s'y attendre, très vite à

3. Windmills (2^{me} Ed), p. 132.

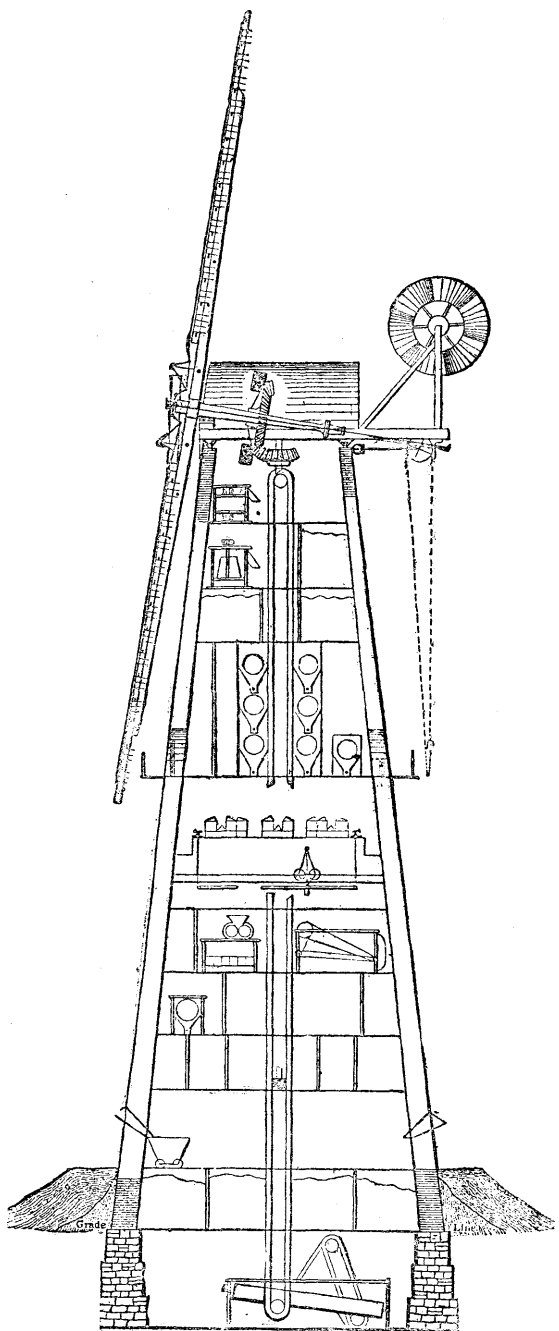


Fig. 306. — Moulin de Great yarmouth (Angleterre).

mesure que la puissance des moulins augmente. Avec les vents très modérés, de 5 mètres environ, pris comme base du calcul de la puissance moyenne, le prix du cheval-heure varierait de 0 fr. 75 à 0 fr. 16 pour des roues variant de 2^m,50 à 7^m,65. On suppose, pour l'établissement de ces frais, que le moulin marche en moyenne 8 heures par jour, et s'amortisse en 10 ans. On voit que la force du vent n'est pas tout à fait gratuite.

Ce prix de revient doit être, d'ailleurs, convenablement réduit pour les grands moulins à huile, à farine, etc., que l'on rencontre encore en Hollande, dans le Nord de la France et même aux Etats-Unis, et qui constituent de véritables petites usines, parfois très bien montées. Tel est, par exemple, le cas du grand moulin à onze étages représenté par la figure 310. Sa hauteur est de 30 mètres au-dessus des fondations ; sa base a 10^m,50 de diamètre et le haut 4^m,80.

Ses ailes ont 12 mètres de diamètre et 3^m,80 de large. Son orientation s'opère, comme d'habitude, par la rotation du capuchon au moyen d'une petite roue auxiliaire, perpendiculaire à celle du moulin et qui tourne tant qu'elle n'est pas parallèle au vent. Avec un bon vent de 10 mètres, les ailes font 9 tours par minute et le moulin produit 120 à 130 hectolitres de farine par 24 heures. Sa puissance est alors de 55 chevaux ⁽¹⁾. Les moulins d'une aussi grande puissance deviennent d'ailleurs de plus en plus rares même en Hollande où ils ont longtemps accompli presque à eux seuls des services d'épuisement très importants. La machine à vapeur, toujours prête et si familière aujourd'hui, leur fait une concurrence presque toujours victorieuse ⁽²⁾.

On a enfin, tout dernièrement, proposé d'actionner par des moulins à vent, de petites installations électriques avec accumulateurs. Ces installations, beaucoup plus encombrantes et plus coûteuses que celles des machines à vapeur, ne sont évidemment possibles que dans des cas tout particuliers ⁽³⁾.

Les Panémones.

On désigne sous ce nom, en pratique, les nombreux moteurs aériens, turbines éoliennes, etc., dont la forme s'écarte notablement de celle des roues de moulins à vent ordinaires que nous venons de décrire, bien, qu'en réalité, la plupart de ces moulins soient, grâce à leurs mécanismes d'orientation et de réglage, de véritables panémones, marchant à tous les vents de grandeur et de direction quelconques. On devrait, pour être rigoureux, réserver le nom de panémones aux appareils qui sont par eux-mêmes également orientés à tous les vents, sans le secours d'aucun mécanisme. Tel est le cas des roues éoliennes à axe vertical, dont le prototype est le moulinet à coupes des anémomètres.

Ces appareils présentent presque tous l'inconvénient d'un encombrement, excessif. Le vent agit, en effet, tangentiellement au panémone comme l'eau d'une chute sur une roue à aubes, au lieu d'y passer en plein corps, comme sur une hélice ou sur une turbine. Aussi a-t-on presque partout renoncé à l'axe vertical.

L'un des appareils à axe vertical les mieux étudiés est celui que représentent les figures 311 à 315 qui a été installé au Grand-Quévilly, près de Rouen, par *MM. Lequesne et Lefebvre*. Nous en empruntons la description suivante à un

1. *Scientific american*, supp. 13 avril, 1887.

2. *Journal de la Meunerie*, déc. 1890.

3. Exemple l'installation de M. Brush, à Cleveland. *La Nature*, 17 janvier 1891, *Scientific american*, 20 décembre 1890.

article publié par les inventeurs mêmes dans le journal *la Nature*, de juillet 1883 :

Une cage cylindrique, pouvant tourner sur son axe verticale, porte 30 ailes en bois léger de $2^m \times 0^m,40$; ces ailes peuvent pivoter sur leurs axes respectifs, qui forment comme les barreaux de cette cage ; chaque aile est d'ailleurs partagée par son

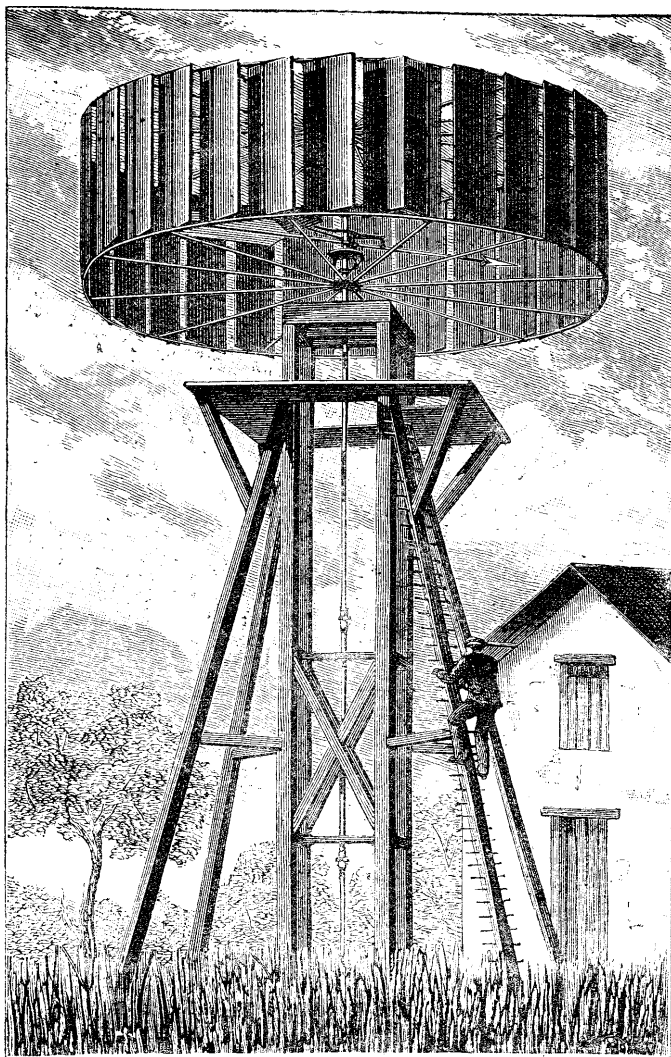


Fig. 311. — Panémone Leguesne et Lefebvre.

axe en deux rectangles inégaux en largeur, dans le rapport de 1 à 2. A l'état de repos ces ailes présentent au vent leur épaisseur et par suite une surface presque nulle. Chaque MN (fig. 312) peut prendre en pivotant sur son axe A deux positions MN, M'N', qui font entre elles un angle de 70° à droite et à gauche de la tan-

gente TT' d'une circonférence cc' dont le centre coïnciderait avec le centre du moulin et qui passerait au point A. L'aile peut être maintenue en MN et $M'N'$ par les deux ressorts RR' quand ils viennent au contact de l'arrêt B. $\overline{ff'}$ est un fil de fer reliant cet arrêt à l'appareil de déclenchement (fig. 314). La figure 313 représente une coupe horizontale du *panémone* montrant la disposition respective de chaque aile à un moment donné. Soit xy la direction du vent, rz le sens de la rotation, M une aile ; en la suivant pendant un tour complet, nous verrons quelles sont maintenant les deux positions qu'elle prend alternativement et *sans choc* pendant la rotation, recevant le vent tantôt sur une face, de 1 en 13, tantôt sur l'autre de 14 en 25 ; car l'aile n'est inactive que de 26 à 30. La projection de la surface exposée au vent et produisant un effet utile est alors représentée, pour un observateur regardant de loin l'appareil, le dos au vent, par le produit de la hauteur des ailes par les 9/10 du diamètre du *panémone* ; cette surface considérable tient à ce que les ailes produisent un effet utile même *en revenant contre le vent* de 14 en 25 et de 1 à 6. C'est le principe qu'on applique dans la direction de la voile d'un navire. Celle-ci fait avec la direction du vent un angle variable qui peut devenir très petit, quant on marche, comme disent les marins, « au plus près du vent. »

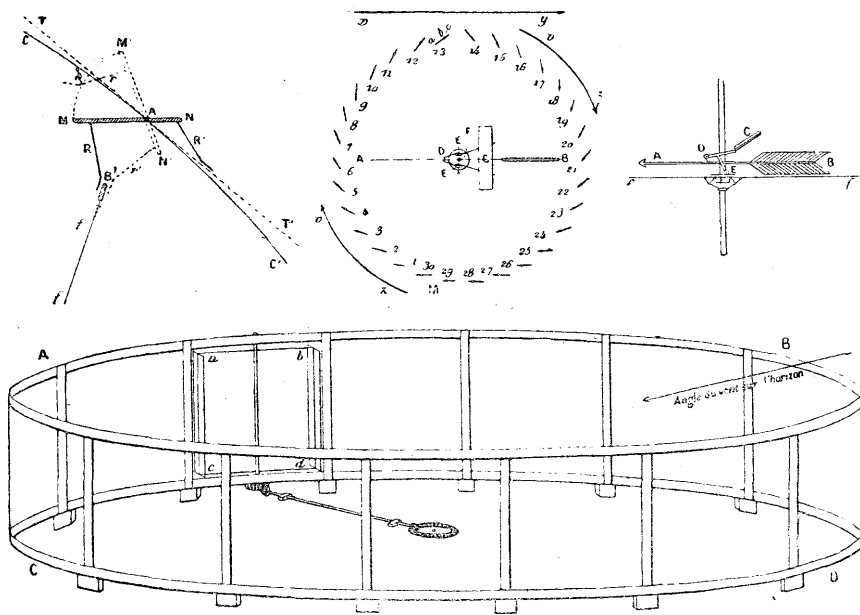


Fig. 312 à 315. — Dessins explicatifs du *panémone*. Lequesne et Lefebvre.

Nous avons dit que l'aile changeait de position de 13 en 14 (fig. 313), *sans choc* ; il est utile d'insister sur ce point ; en effet, à l'instant où chaque aile occupe la position 13, elle est dans sa partie ab , soustraite à l'impulsion du vent par l'aile qui occupe la 12^e position ; le vent la frappant seulement en bc , elle s'ouvre, mais aussitôt emportée par la rotation du *panémone*, elle arrive à sa position nouvelle à l'instant précis où elle est complètement masquée, et par suite sans choc.

Quant aux arrêts ils sont commandés par des fils de fer aboutissant au centre du moulin où est disposé l'appareil qui dérobe *automatiquement* les ailes aux coups de la tempête.

Voici en quelques mots la disposition de cet organe (fig. 314). Une girouette AB, libre de tourner sur l'arbre du moulin et que le vent maintient dans une direction fixe, porte un plateau C, articulé en D, toujours opposé au vent. Vienne la tempête, le plateau C, sous la pression du vent, s'abaisse, les deux galets EE' qu'il porte (dont un seul est visible sur la fig. 313), appuient sur la douille F, libre de descendre le long de l'arbre, le déclanchement se fait par l'intermédiaire des fils de fer ff', et les ailes ne présentent plus au vent que leur tranche. Que le vent se calme, un mouvement inverse se produit et bientôt le moulin se remet en marche.

MM. Lequesne et Lefebvre ont aussi proposé de construire des appareils de grande puissance par le groupement d'un certain nombre de panémons *a.b.c.d.* fig. 315, conduisant une même transmission et montés dans une cage A. C. D. de diamètre suffisant pour que le vent puisse, avec son inclinaison moyenne de 15°, atteindre les panémons d'arrière sans qu'ils soient masqués par ceux de l'avant (1).

Le pantanémone de *M. Sanderson*, plonge au contraire dans le vent, comme une hélice, dont il rappelle d'ailleurs les formes élémentaires. Nous en empruntons la description suivante à la publication industrielle de *M. Armengaud* (2).

Ce moulin est composé essentiellement fig. 316 à 319 de deux surfaces planes en tôle A et A', renforcées par des fers plats *a*, et affectant la forme de deux demi-cercles presque complets. Ces surfaces, qui constituent les ailes, sont fixées par leurs centres sur l'arbre horizontal C, avec lequel elles font chacune un angle de 45° ; il en résulte qu'elles sont perpendiculaires l'une sur l'autre.

Ces ailes ont leur circonférence divisée en quatre arcs égaux, et des points de division de chacune d'elles, partent deux tirants de fer *b*, qui aboutissent aux extrémités de la demi-circonférence de l'aile opposée ; de plus, des barres plates *b'* relient ces mêmes extrémités à l'arbre C, comme on le voit sur la figure 217. Cet ensemble, ainsi solidement entretoisé, quoique d'une grande légèreté, constitue la partie essentielle du moulin ; c'est elle qui reçoit l'action du vent dans la direction de l'arbre. Celui-ci tourne dans des paliers *p*, montés sur un bâti en treillis P, au-dessous duquel est rapportée une couronne en fonte *d* ; c'est par l'intermédiaire de cette couronne que tout l'ensemble mobile repose sur quatre galets D dont les axes tournent dans des paliers fixés au sommet de la charpente.

Pour empêcher le moulin d'être soulevé lorsque le vent souffle de bas en haut, on a rivé au bâti des petites consoles P', servant de supports à des galets E dont les axes sont inclinés, et qui roulent sur une couronne *e*, fixée à la charpente.

Quant à la rotation de l'arbre C, elle est transmise par courroie à un second arbre horizontal F, à l'extrémité duquel est calé le plateau-manivelle *f*.

Comme nous l'avons dit précédemment, le moulin que nous venons de décrire

1. On retrouve une idée analogue dans la tour à vent (Wind Tower) de Wood. Haton de la Goupillière. *Cours de machines*, vol. II.

Voir aussi les brevets français de *Delamotte*, 97972 de 1873, et anglais de *Purper*, 1233 de 1889.

2. Brevet français, 8708. 30 août 1873. *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1870, p. 49, *la Nature*, 28 avril, 1874.

n'est pas encore construit, mais on s'est basé pour l'étude du projet sur le moulin de 3 mètres de diamètre établi à Villejuif et au sujet duquel M. Humblot, in-

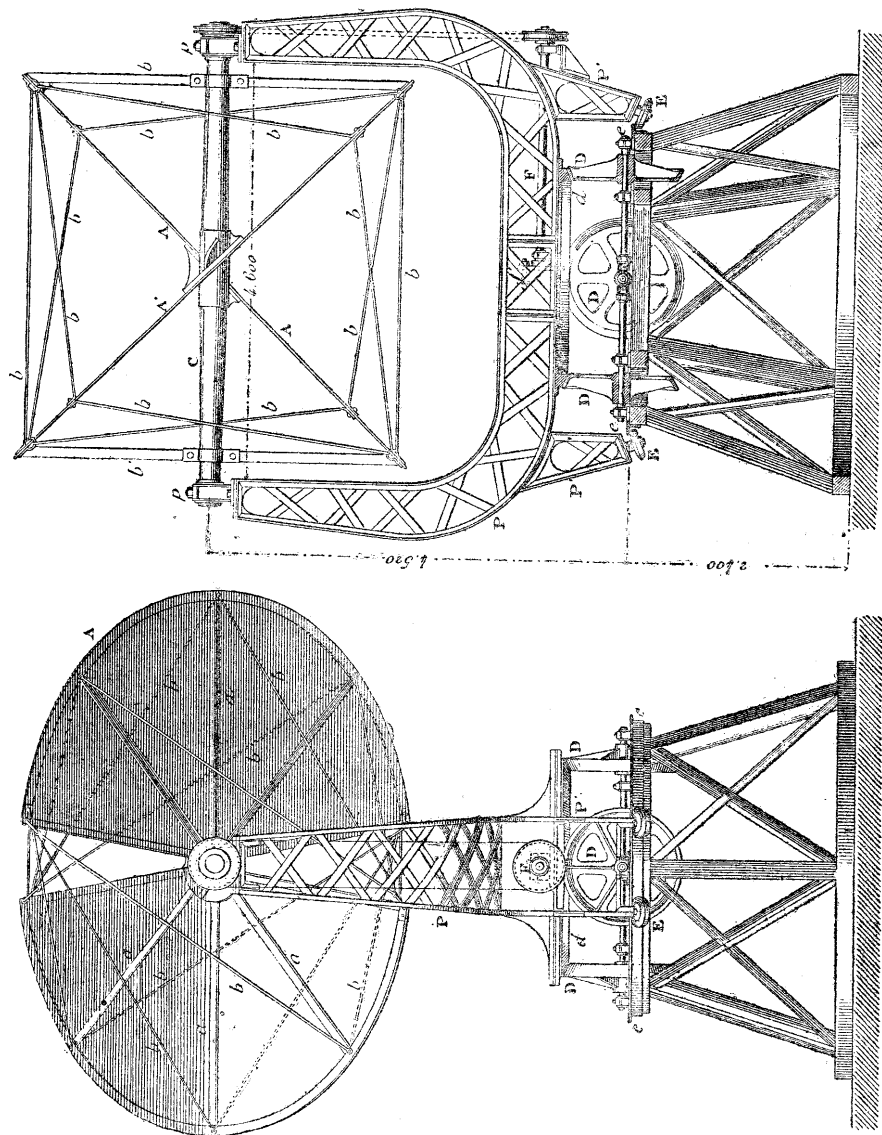


Fig. 316 et 317. — *Panénone Sanderson*. Vue par bout et coupe longitudinale médiane. A ailes maintenues par l'armature *bb'*. C, arbre des ailes conduisant par une courroie l'arbre F, DE. galets de roulement et galets guides du panénone sur les rails *d* et *e*.

génieur du service municipal, a fait un rapport dont nous extrayons le paragraphe suivant :

« D'ailleurs, le moulin de M. Sanderson offre le précieux avantage de tourner

par les vents les plus intenses, et même de supporter de violentes tempêtes, sans qu'il soit besoin d'effacer les ailes. Il peut ainsi utiliser des vents dont les vites-

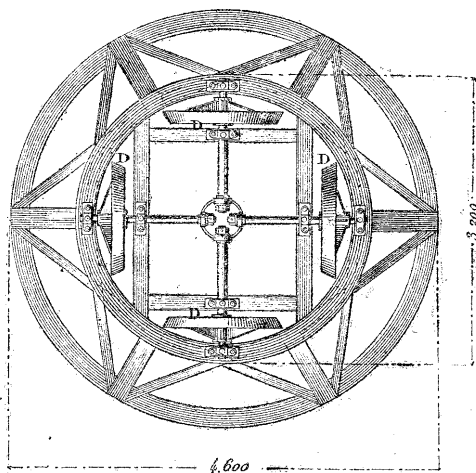


Fig. 318. — *Panémone Sanderson*. Plan des galets de roulement.

ses sont bien supérieures à celles de 7 ou 8 mètres par seconde, qui sont les limites extrêmes pour les moulins ordinaires... Le moulin Sanderson peut être cons-

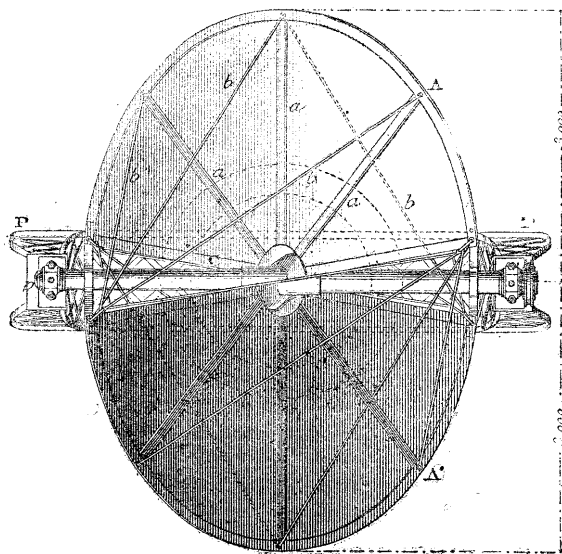


Fig. 319. — *Panémone Sanderson*. Plan des ailes.

truit dans des conditions beaucoup plus économiques que les moulins à quatre ailes ou les turbines aériennes présentant une puissance égale... »

La même année, en 1878, M. Couronne, inspecteur du service des eaux, disait dans son rapport :

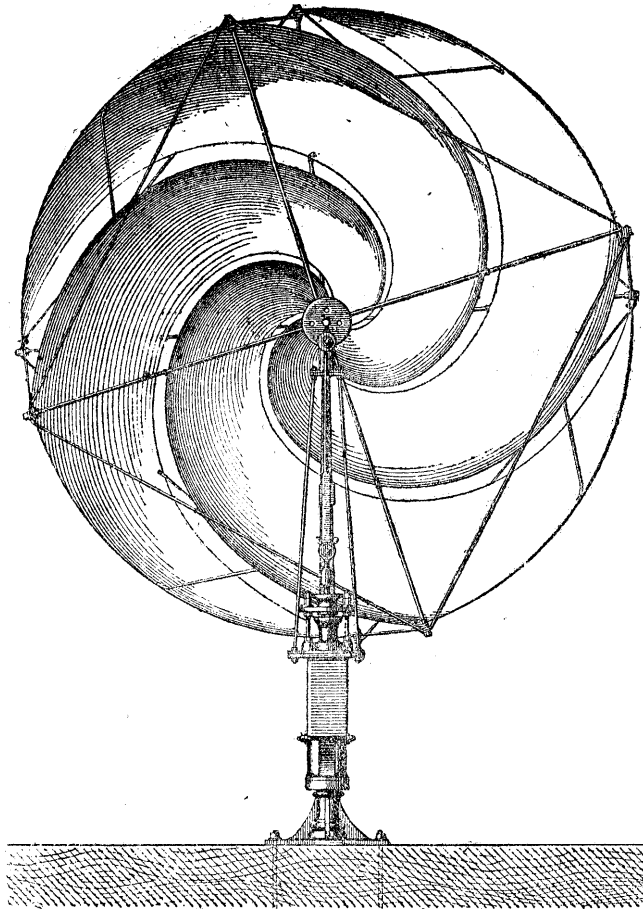
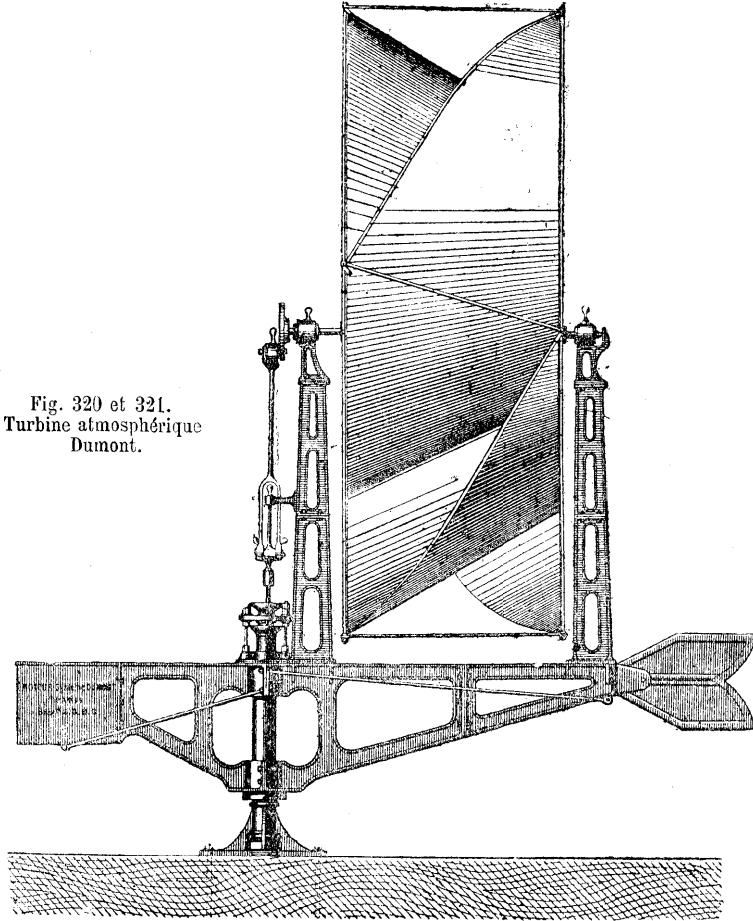


Fig. 320 et 321.
Turbine atmosphérique
Dumont.



« ... Les anciens moulins n'auraient pu fonctionner avec des vents dépassant 7 mètres par seconde, sans modification de voilure, que 169 jours par an ; tandis que le moulin Sanderson aurait, en outre, utilisé, avec augmentation de rendement, 65 jours de vent dont la vitesse a varié de 8 à 15 mètres. »

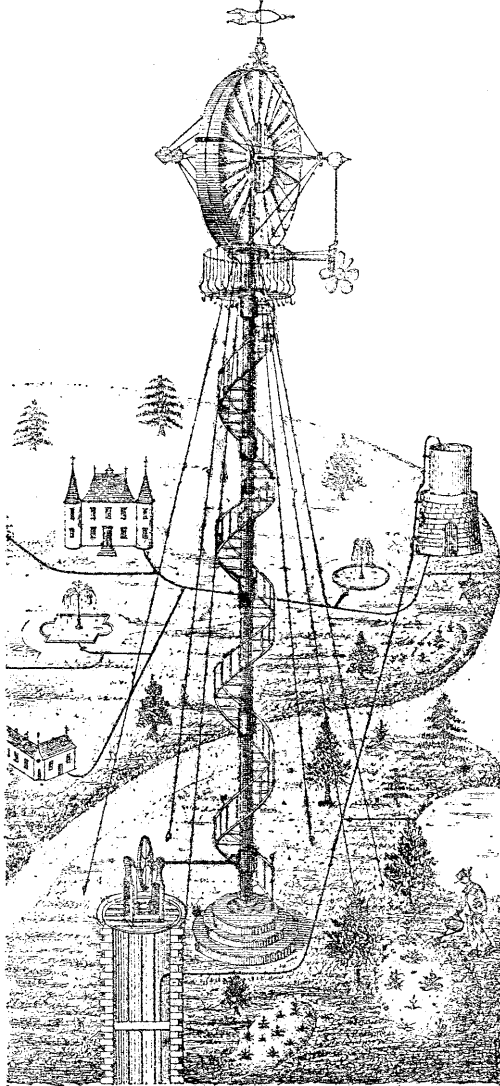


FIG. 322

Nous ferons remarquer que ces rapports ont été faits avant l'établissement d'un appareil orientable automatiquement ; avec un tel appareil les résultats seraient meilleurs que ceux indiqués dans les rapports précédents.

Dans les essais faits sur le moulin de Villejuif, on a élevé par heure 1 800 litres d'eau à 45 mètres de hauteur, avec une vitesse du vent égale à $5^m,60$, le nombre de tours du moulin était de 60 par minute ; ce travail est égal à $22\frac{1}{2}$ kilogrammètres.

Dans une autre expérience, avec une vitesse de vent égale à 7 mètres, on a élevé à 5 mètres de hauteur, 6 litres d'eau par seconde, soit $21^m,600$ par heure, ce qui correspond à un travail effectif de 30 kilogrammètres. »

M. Dumont s'est efforcé d'appliquer à la construction des aubes de sa turbine atmosphérique les principes du tracé en libre déviation des turbines à eau, et il est arrivé à leur donner, à la suite de nombreux essais méthodiques, la forme difficile à définir géométriquement mais suffisamment exprimée par les figures 320 et 321. Ces turbines dont les ailes en tôle sans articulations présentent une voilure très considérable, tournent au moindre vent, et peuvent supporter de véritables coups de vent sans prendre des vitesses dangereuses. Un appareil de 4 mètres de diamètre, comme celui des figures 320 et 321, peut, avec un vent moyen de 7 à 8 mètres, élever par heure environ 4 mètres d'eau à 10 mètres. — Une turbine de 6 mètres en élève 5 à 6.

Parmi les applications les plus intéressantes de la turbine Dumont, on peut citer celle de l'alimentation de la petite ville d'Orgelet, dans le Jura, desservie par deux turbines de 6 mètres de diamètre, qui élèvent chacune, par minute, environ 60 litres d'eau à une hauteur de 42 mètres, et fournissent ainsi, par jour, environ 35 à 40 mètres cubes d'eau. Cette eau est pompée dans un réservoir de 1000 mètres, suffisant pour parer aux irrégularités.

Je ne ferai que citer la turbine éolienne de l'ingénieur hydraulicien bien connu *M. A. Bollée*, du Mans, et dont la fig. 322, représente suffisamment l'aspect général. — La forme des aubes et des directrices fixes, caractéristiques logiques de ces appareils, a été, comme pour la turbine Dumont, déterminée expérimentalement. Ces turbines peuvent aussi tourner aux plus grands vents sans prendre des vitesses dangereuses, car la vitesse circonférencielle n'y dépasse guère celle du vent. Les turbines Bollée ont été l'objet de nombreuses applications parfois pour d'assez grandes puissances. La turbine du type n° 3, par exemple, est calculée pour élever, par 24 heures de vent moyen, environ 80 m.^3 , à 10 mètres.

GUSTAVE RICHARD

ERRATA

Page 350. Dans la note, lire " 5 mètres " au lieu de " 10 mètres ".

» 377. Dans la note, lire " à ne dépenser " au lieu de " à une dépense ".

TABLE DES MATIÈRES

6^{me} Partie. — Tome II

MACHINES A VAPEUR ET MACHINES THERMIQUES

CONGRES INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE

PREMIÈRE QUESTION

Unification du cheval-heure. — Spécification de la puissance des générateurs de vapeur. — Rendement.

Rapport de M. A. TRESCA.

	Pages
Exposé	1
Rendement	3
Machines marines	3
Locomotives.	4
Chaudières.	5

CINQUIÈME QUESTION

Machines à vapeur à détente en cylindres successifs.

Rapport de M. A. MALLET.

Exposé	7
Aperçu historique. — Machine Woolf	7
Machine compound	10
Considérations sur les machines à deux cylindres	12
Machines à triple expansion	19

Progrès réalisés dans les machines à vapeur depuis 1878.

Conférence de M. E. POLONCEAU.

Exposé.	21
Classification d'après le mode de distribution	22
1 ^o Distributions par tiroir et excentriques circulaires	22

	Pages
2 ^o Distributions genre Corliss	23
3 ^o Distributions genre Sulzer	23
4 ^o Distributions par excentriques à ondes	24
5 ^o Distributions diverses	24
6 ^o Machines Woolf-Compound	24
Exposition de 1889. — Progrès réalisés	27
Vitesse de rotation. — Graissage	27
Pression de marche	28
Espaces morts et compression	29
Vitesses de pistons	29
Emploi des chemises de vapeur.	30
Condenseurs.	30
Machine compound	30
Machines mono-cylindres.	31
<i>Machines à grande vitesse.</i> — Machines-pilons simples ou compounds .	31
Machines horizontales à grande vitesse	31
» compactes	31
<i>Régulateurs.</i> — Régulateur Armington.	32
Régulateur Lecouteux et Garnier	32
» Proëll	32
Machines à déclie à tiroirs plats.	34
Distributions à soupapes.	34
» spéciales	36
<i>Machines à tiroirs ordinaires</i>	36
Machine à un seul cylindre de la Société de l'Horme à détente	
Bonjour	36
Machine de la Société de Gilly	38
» horizontale réversible de 3000 chevaux du Creusot . .	39
» Burekhart, de Bâle, actionnant des compresseurs d'air.	41
Pompe Worthington.	41
Locomobiles. — Locomobiles Cail et Halot, Piroult, Gausset,	
Davey et Paxmann, Aveling et Porter	43
<i>Machines à quatre distributeurs.</i>	
Machine Corliss horizontale exposée par le Creusot	43
» Corliss verticale du Creusot.	44
» Windsor mono-cylindre	46
» Corliss de la maison Lecouteux et Garnier	46
» à balancier oscillant de MM. Fourlinnie et Casse . . .	49
» à quatre distributeurs à soupapes par la Société de	
construction de la Meuse.	49
» de la Compagnie de Fives-Lille	50
» Farcot à quatre distributeurs, à volant de 10 mètres . .	52
» Dyckhoff.	56
» de la Société de Haine-Saint-Pierre (système Hoyois) .	56
» à déclie Zimmermann et Woldmann, par Cail et Halot .	57
» C. H. Brown	57

	Pages
Machine de la Société Verviétoise	57
» d'extraction de la Société de Marcinelle et Couillet . . .	57
» de MM. Jean et Peyrussen	58
<i>Machines Woolf</i>	
Machine Woolf à balancier de M. Windsor	59
» soufflante verticale de Cockerill	62
» Quérueu, construite par MM. Douane-Jobin	62
<i>Machines Compound</i>	
Machine de la Société alsacienne de Constructions mécaniques à distribution Frikart	65
» compound de la maison Escher, Wyss et C ^{ie} à distribu- tion Frikart	66
» horizontale compound à deux cylindres superposés de la Société alsacienne	67
» à vapeur demi-fixe compound de 60 chevaux de la Société alsacienne	67
» à vapeur de la maison Biérix	69
» compound de 200 chevaux de la Société des, Aciéries (établissements Cail)	72
» Davey, Paxman et C ^{ie}	76
» compound tandem de M. Windsor	78
» Chaligny et C ^{ie}	81
» de la Société anonyme du Phénix, de Gand	82
» Corliss compound de MM. Berger André	85
» Corliss compound en tandem de MM. Deville, Chatel et C ^{ie} à distribution Frikart	87
Machine compound de la Société de l'Horme	88
» » de 180 chevaux fournissant l'eau aux appareils hydrauliques du port du Havre	89
Machine compound construite par la maison J. Le Blanc	89
» » mi-fixe de 80 chevaux de M. Ch. Bourdon	90
» élévatoire Worthington	91
» compound de M. Boulet	92
Compresseurs d'air de la Société de Cockerill	92
Machine à vapeur horizontale compound de la maison Sulzer . .	93
» Olry et Grandemange	94
» Wheelock, construite par M. de Quillacq	98
» à détente asservie Pilon compound, type Farcot	102
» compound, système Sautter et Lemonnier	104
» à vapeur horizontale à triple détente, de 100 chevaux, de Sulzer	105
Machine verticale à triple expansion de Sulzer	106
» Willans à triple expansion	108
<i>Machines horizontales à grande vitesse</i>	
Machines Armington et Sims de la Société alsacienne	111
» Lecouteux et Garnier	113
Moteur américain Straight Line de Steinlen et Cie	115

	Pages
<i>Machines verticales à grande vitesse</i>	
Machine pilon, construite par MM. Lecouteux et Garnier	115
Machines des Ateliers d'Erlikon	117
» à triple expansion de MM. Weyher et Richemond	118
<i>Machines compactes</i>	
Machine Westinghouse.	123
Machines à vapeur à distribution centrale, système Ch. Brown, construites par Weidknecht	126
» rotative Bonjour.	130
» de Montrichard	130
Turbo-moteur Parsons (Weyher et Richemond).	131
<i>Note A. — Extrait du compte rendu des séances du 13^e Congrès des Ingénieurs en Chef des Associations de Propriétaires à vapeur</i>	132
<i>Note B. — Extrait du rapport de M. Walther-Meunier, ingénieur en chef de l'Association Alsacienne de propriétaire d'appareils à vapeur</i>	133
Tableau comparatif des consommations de machines compound et de moteurs à un cylindre	135
Notes sur divers moyens d'économiser la vapeur dans les machines à un cylindre, PAR M. DWELSHAUVERS-DERY.	137
Expériences de M. Bryan-Donkin	137
» de M. Willans,	138
Méthode de M. Dwelshauvers-Dery	139
Essais de M. Donkin.	144
» de M. Hirn	144
» de M. Willans.	145
Conclusions	145
Tableau des essais de M. Donkin	148
» » de M. Hirn	148
» » de M. Willans	149
Sur la détermination exacte des positions réciproques de l'extrémité de la bielle et de la manivelle et sur un diagramme de distribution tenant rigoureusement compte de l'obliquité des bielles, PAR M. F. DUBOST.	151
Positions réciproques des extrémités de la bielle et de la manivelle.	151
Diagramme de distribution	155
Sur un nouveau procédé de commande des tiroirs de distribution au moyen de l'orientation facultative du collier d'excentrique, PAR M. BONJOUR	159
Principe de la distribution	160
Application	161

	Pages
Communication sur un nouveau type de machine à vapeur accouplée dit type compound français b. s. g. d. g., PAR M. A. DE LANDSÉE	
<i>Considérations générales.</i>	165
Examen des conditions de marche d'une locomotive ordinaire. . .	165
Considérations ayant présidé à l'établissement du type « com- pound français »	166
<i>Description du type compound français</i>	167
Machine fixe.	167
<i>Marche de la machine du type compound français au point de vue des effets produits par la vapeur.</i>	169
Observations sur les conditions de compression.	169
Examen du travail de la vapeur dans la machine du type com- pound français pendant la détente dans le cylindre à haute pression	170
Examen du travail de la vapeur pendant la détente dans le cylindre à basse pression	171
<i>Comparaison du travail de la machine compound français avec la ma- chine compound ordinaire.</i>	172
<i>Application du type compound français aux locomotives.</i>	173
Dispositions auxquelles conduit cette disposition	173
Première observation sur le type compound français.	173
Deuxième » » » » »	173
<i>Résultats obtenus jusqu'à ce jour avec les machines en compound français</i>	174
<i>Côté économique des applications du type compound français.</i>	175
Transformation des locomotives	175
Bénéfices réalisés.	175
Application de ce type à toutes les machines.	176
<i>Réponse à quelques objections au sujet de l'application du type compound français aux locomotives</i>	176
Séparation des distributions dans les deux cylindres	176
Observation sur la qualification d'atténuante qui a été donnée aux machines transformées en compound français	177
Essais sur une application spéciale de compound aux ma- chines locomotives existantes, PAR G. A. A. MIDDEL- BERG, traduit par M. Landsée	179
Note sur l'aéro-condenseur, PAR M. F. FOUCHÉ	189
Préliminaires	189
Condensation par l'air	189

	Pages
Difficulté inhérente à ce système	189
Comment elle a été résolue	190
Disposition générale de l'aéro-condenseur	190
Difficultés inhérentes au grand volume d'air à mettre en mouvement	190
Dispositions spéciales	191
Avantages de la condensation par l'air	191
Utilisation de l'eau de condensation	192
Vide obtenu	192
Travail exigé par la condensation	193
Résultats d'expériences	193
Condensation par l'air humide	194
Prix d'établissement	194
Résumé	194

Machines thermiques autres que les machines à vapeur

d'eau, RAPPORT DE M. J. HIRSCH	195
Exposé et Division	195
Comparaison avec la machine à vapeur	195
Décompte de la chaleur consommée par une machine à vapeur	197
Transmission complexe	200
Du coefficient économique	200
Décompte de la chaleur dans les moteurs thermiques en général	201
Du rendement thermique comme base de comparaison	201
Considérations diverses	202
Classification des moteurs thermiques	203
Machines à vapeur d'eau surchauffée	204
Vapeurs diverses	205
Machines à air chaud	206
Des régénérateurs de vapeur	207
Chauffage extérieur	208
Chauffage intérieur	208
Combustibles solides	209
Combustibles gazeux	209
Combustibles liquides	210
Combustion ou explosion	211
Combustion continue	212
Explosion	212
Pertes par les parois	213
Imperfection du cycle	214
Résistances passives	215
Allumage et combustion imparfaite	215
Effet utile des moteurs à explosion	215
Procédés d'allumage	216
Eau consommée	217
Organes régulateurs de la vitesse	217
Compression préalable	218
Machines mixtes et diverses	220

	Pages
Questions diverses	220
De l'emploi des divers moteurs thermiques. Installations fixes . .	221
Installations mobiles.	221
Questions à examiner par le Congrès de mécanique	222

Fondations élastiques et isolantes en vue d'amortir les chocs

et les vibrations, PAR G. ANTHONI	223
---	-----

Les Moteurs secondaires à l'Exposition universelle de 1889

par G. RICHARD.

<i>Introduction</i>	225
<i>Machines à air chaud.</i> — Considérations générales.	229
Théorie	232
Machines à foyer extérieur	
Machines Lehmann-Bailey (cycle fermé)	239
» Rider »	242
Moteur Soderstrom (cycle ouvert).	245
Machine Hoek (mixte) (cycle ouvert).	249
» Paul Giffard »	251
» Mac Kinley (cycle fermé)	255
» Woodbury »	257
» Robinson »	272
Machine à foyer intérieur.	
Machine Leavitt	275
» Buckett	277
» Brown	280
» Todt.	284
» Jenkin et Jameson	287
Moteur Holt.	289
» Holdorf et Bruckner.	292
» Bénier	292
» Genty.	297
<i>Annexe.</i> — Utilité des régénérateurs	303
Comparaison théorique des divers moteurs à air chaud . .	304
Machine Stirling de 1827.	307
» de Rankine et Napier (1853).	311
Moteur Jenkin et Jameson	314
Machine Schaw	326
Moteur Hirsch	333
» domestique Ericson.	344
<i>L'Air comprimé</i>	349
Introduction.	349
Pression de régime	350
Détente	350
Réchauffeurs	351
Régulateurs de pression	353

	Pages
Joint de la canalisation	356
Purgeurs.	356
Autoclaves	357
Compresseurs. — Compresseurs Cockerill.	360
Compteurs. — Compteur moteur Sturgeon	362
Moteurs	364
Moteur Schmid et Beckfeld	368
Moteur Proell et Kummer	369
Moteur rotatif Popp.	370
Régulateur Popp	371
<i>Annexe.</i> — Analyse du rapport de M. Kennedy	372
Tableau résumé des expériences de M. Kennedy	376
<i>L'Air raréfié</i>	
<i>Introduction.</i>	378
Moteur de 100 kilogrammètres de MM. Petit et Boudenoot	379
<i>Moteurs à vapeur domestiques</i>	384
Distribution de vapeur et d'eau surchauffée	384
Distribution de vapeur de New-York.	384
Canalisations. — Joints à diaphragmes	385
Purgeurs	387
Chaudières	389
Pertes. — Condensation. — Fuites	389
Dépense d'établissement.	391
Résultats d'exploitation	392
Calculs des tuyaux.	393
Vente aux 1000 calories	394
Coups d'eau	394
<i>Distribution d'eau surchauffée de Boston.</i>	394
Conduits et joints.	396
Appareils de chauffage	399
Comparaison entre le chauffage à vapeur et à eau surchauffée .	401
<i>Moteurs à vapeur</i>	402
Moteur Bashall	403
Automoteur Piffre	406
Moteur Friedrich.	407
• Flurschein et Bergmann.	411
» atmosphérique Hathorn-Davey.	414
Disposition d'ensemble.	415
Générateur	416
Mécanisme moteur	417
Appareil de condensation.	418
Travail du moteur	419
Perfectionnements de M. Albaret	419
Observations	420
Machine Tyson	423

	Pages
Moteur Copeland	425
Vélocipède à vapeur Copeland	427
Moteur Serpollet	427
» Bethmont.	431
Chaudière Chameroy	433
Vaporisateur Buisson	433
<i>Moulins à vent</i>	434
Conclusions théoriques.	434
Moulin Corcoran	437
» Halladay.	447
» Rossin.	451
» Fustin.	452
» Weisberger	453
<i>Les Panémons</i>	456
Panémon Lequesne et Lefebvre	456
» Sanderson	459
Turbine atmosphérique Dumont	462
« éolienne de Bollée	464

INDEX ALPHABÉTIQUE

A

Albaret	419	Armington	32
Anthoni	223	Aveling	43

B

Bailey	239	Boston	394
Bashall	403	Boudenoot	379
Beckfeld	368	Boulet	92
Bénier	292	Bourdon	90
Bethmont	431	Brown	57, 126, 280
Berger (André)	85	Bruckner	292
Bergmann	411	Bryan Donkin	137, 141, 148
Bietrix	69	Buckett	277
Bollée	464	Buisson	433
Bonjour	36, 130, 159		

C

Cail	43, 57, 72	Copeland	425, 427
Casse	49	Corcovan	437
Chaligny	81	Corliss	23, 43, 44, 46
Chameroy	433	Couillet	57
Châtel	87	Creusot	39
Cockerill	62, 92		

D

Davey	43, 76	Dubost	151
Deville	87	Dumont	462
Donkin	137, 144, 148	Dwelshauvers-Dery	137, 139
Douane	62	Dickoff	56

E

Ericson	344	Escher Wyss	66
-------------------	-----	-----------------------	----

F

Farcot	52, 102	Fourlinnie	49
Fives-Lille	50	Friedrich	407
Flurschein	411	Frikart	65, 66, 87
Fouché	189	Fustin	452

G

Garnier	32, 46, 113,	115	Giffard	251
Gausset		43	Grandemange	94
Genty		297		

H

Halladay		447	Hock	249
Halot	43,	57	Holdorf	292
Hathorn		414	Holt	289
Hirn	144,	148	Hoyois	56
Hirsch	195,	333		

J

Jameson	287,	314	Jenkin	287, 314
Jean		58	Jobin	62

K

Kennedy	372,	376	Kummer	369
-------------------	------	-----	------------------	-----

L

Landsée	165,	179	Lehmann	239
Leavitt		275	Lemonnier	104
Lecouteux	32, 46, 113,	115	Lequesne	456
Lefebvre		456		

M

Mac-Kinley		255	Middelberg	179
Mallet		7	Montrichard (de)	130
Marcinelle		57		

N

Napier	341	New-York	384
------------------	-----	--------------------	-----

O

Oerlikon	117
--------------------	-----

P

Parsons	131	Piroult	43
Paxman	76	Polonceau	21
Petit	379	Popp	370, 371
Peyrusson	58	Porter	43
Piffre	406	Proell	32, 369

Q

Quéruei	62	Quillacq (de)	98
-------------------	----	-------------------------	----

R

Rankine	311	Robinson	272
Rider	242	Rossin	451

S

Sanderson	459	Société de Marcinelle et Couillet	57
Sautter	104	» du Phénix	82
Serpollet	427	» Verviétoise	57
Shaw	326	Soderstrom	245
Société Alsacienne 65, 67,	111	Steinlen	115
» Cail	72	Stirling	307
» Cockerill	92	Straight Line	115
» Construction de la Meuse	49	Sturgeon	362
» de Gilly	38	Sulzer 23, 93,	106
» de l'Horme 36,	88		

T

Tresca	1	Todt	284
------------------	---	----------------	-----

W

Weidknecht	126	Windsor 46, 59,	78
Weinberger	453	Woldmann	57
Westinghouse	123	Woodbury	257
Weyher	118	Worthington 41,	91
Wheelock	98	Wyss (Escher Wyss et Cie).	66
Willans	108		

Z

Zimmermann	57
----------------------	----

